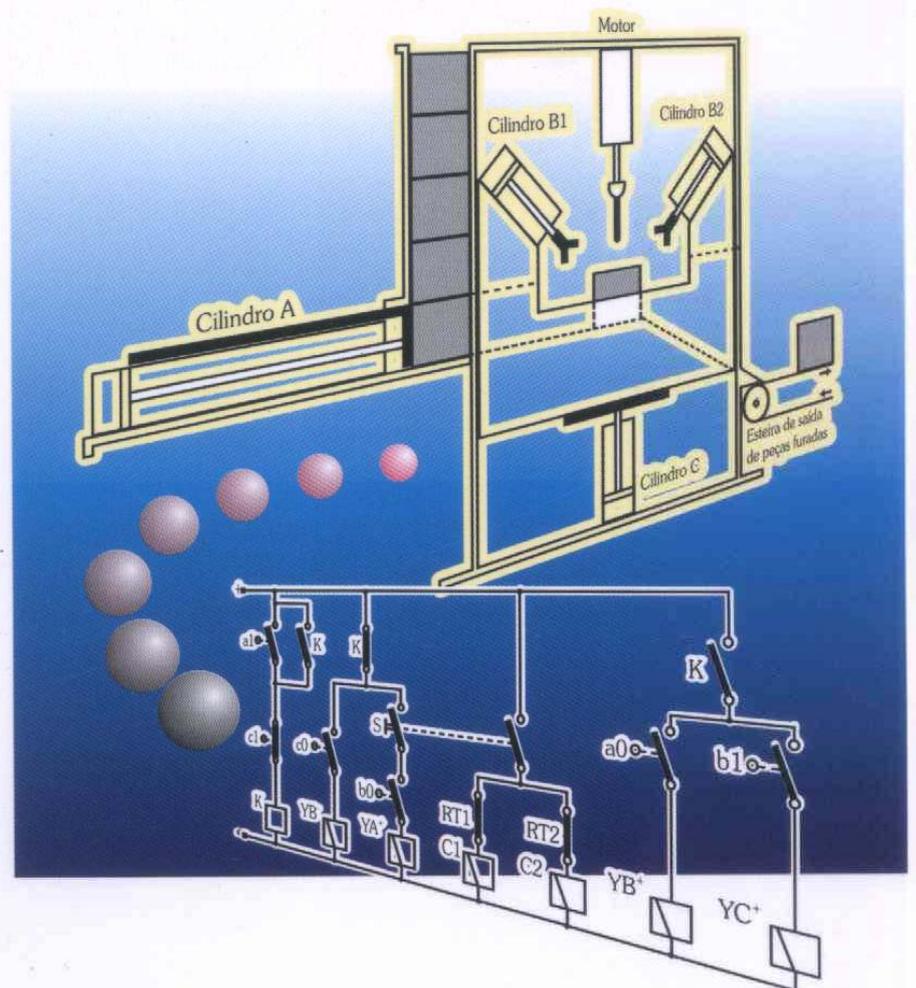


**AUTOMAÇÃO
INDUSTRIAL**

Estude e Use

Automação Eletropneumática



9ª EDIÇÃO



**NELSO GAUZE BONACORSO
VALDIR NOLL**

Automação Eletropneumática

Objetivos:

- Fornecer subsídios teóricos e práticos relativos aos processos eletropneumáticos automatizados.
- Proporcionar aos alunos de universidades, escolas técnicas e profissionais que atuam no setor, a capacidade de entender, dar manutenção e projetar sistemas automatizados.

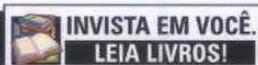
Autores:

NELSO GAUZE BONACORSO

Engenheiro Eletricista formado pela UFSM, com Mestrado em Eletrônica de Potência pela UFSC. Atualmente, é professor na Escola Técnica Federal de Santa Catarina.

VALDIR NOLL

Engenheiro Eletricista formado pela UFSM, com Mestrado em Eletrônica de Potência pela UFSC. Atualmente, é professor na Escola Técnica Federal de Santa Catarina.



www.editoraerica.com.br

ISBN: 85-7194-425-3



9 788571 944251

Automação Eletropneumática



EDITORA AFILIADA

Nelso Gauze Bonacorso
Valdir Noll

Automação Eletropneumática

Editora Eriça Ltda.
2006 – 9º Edição

Conselho Editorial:	Celso de Araújo Eduardo César Alves Cruz Salomão Choueri Júnior
Consultor Técnico:	Eduardo César Alves Cruz
Diagramação:	Graziela M. L. Gonçalves
Criação de Capa:	Maurício S. de França
Supervisão:	Rosana Arruda da Silva
Diretor Editorial:	Antônio Marco Vicari Cipelli
Diretor Comercial:	Paulo Roberto Alves
Diretor de Publicidade:	Waldir João Sandrini

Copyright © 1997 da Editora Erica Ltda.
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Bonacorso, Nelso Gauze.

Automação Eletropneumática / Nelso Gauze Bonacorso, Valdir Noll. - São Paulo: Erica, 1997.

Bibliografia.

ISBN 85-7194-425-3

1, Automação. 2. Controle Pneumático. 3. Energia Elétrica. 4. Pneumática, I. Noll, Valdir. II. Título.

97-1268

CDD-629.8045

índices para catálogo sistemático

1. Automação Eletropneumática: Tecnologia 629.8045

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográfi-cos, fonográficos, videográficos, internet, e-books. Vedada a memorização e/ou recuperação total ou parcial em qualquer sistema de processamento de dados e a inclusão de qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético. Essas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, conforme Lei, n5 10.695, de 07.01.2003) com pena de reclusão, de dois a quatro anos, e multa, conjunta-mente com busca e apreensão e indenizações diversas (artigos 102, 103 parágrafo único, 104, 105, 106 e 107 itens 1, 2 e 3 da Lei n'9.610, de 19/06/98, Lei dos Direitos Autorais).

Os Autores e a Editora acreditam que todas as informações aqui apresentadas estão corretas e podem ser utilizadas para qualquer fim legal. Entretanto, não existe qualquer garantia, explícita ou implícita, de que o uso de tais informações conduzirá sempre ao resultado desejado. Os nomes de sites e empresas, porventura mencionados, foram utilizados apenas para ilustrar os exemplos, não tendo vínculo nenhum com o livro, não garantindo a sua existência nem divulgação. Eventuais erratas estarão disponíveis no site da Editora Eriça para download.

Editora Eriça Ltda.

Rua São Gil, 159 - Tatuapé

CEP: 03401-030-São Paulo-SP

Fone: (11) 2295-3066 - Fax: (11)6197-4060

www.editoraerica.com.br

Dedicatórias

Dedico à minha mãe Anna.

Nelso Gauze Bonacorso

Dedico à minha esposa Mirian, ao meu filho e à minha mãe
Aceli.

Valdir Noll

Agradecimentos

Agradecemos a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na elaboração deste livro, especialmente ao nosso amigo Mateus Prim dos Santos. À Editora Eriça, agradecemos pela oportunidade de contribuir para o avanço técnico e científico deste país.

Os Autores

Objetivos

Fornecer subsídios teóricos e práticos relativos aos processos eletropneumáticos automatizados.

Proporcionar aos alunos de universidades, escolas técnicas e profissionais que atuam no setor, a capacidade de entender, dar manutenção e projetar sistemas automatizados.

Prefácio

Este livro foi desenvolvido procurando agregar em seu corpo o material necessário para que, tendo pouco ou nenhum conhecimento prévio, o leitor possa compreender e até desenvolver processos automatizados de pequeno e médio portes.

Para isso, primou-se pela apresentação clara, sucinta e concisa dos tópicos relacionados aos assuntos ligados à automação eletropneumática. Os diversos capítulos foram agregados de acordo com o fluxo lógico de um processo automatizado, de tal forma que, começando com a explicação do que é automação eletropneumática, passamos à descrição dos componentes principais e suas interações, culminando com o conhecimento necessário para o desenvolvimento de projetos de sistemas eletropneumáticos automatizados.

A simbologia utilizada segue a norma DIN (alemã) na sua grande maioria, e as unidades seguem o Sistema Internacional de Unidades. Alguns símbolos não estão especificados em normas, e foram criados de acordo com critérios de melhor representação didático-pedagógica.

Nós, autores, desejamos que a leitura deste livro seja de grande valia para o ensino, o aprendizado e o desenvolvimento de sistemas eletropneumáticos automatizados, que, sem dúvida nenhuma, é a alavanca da produtividade industrial e do desenvolvimento deste país.

Os Autores

Índice

Capítulo 01 - Introdução	01
1.1 - Energia Elétrica	01
1.2 - Energia Pneumática	01
1.3 - Sistemas Hetro pneumáticos.....	02
Exercícios Propostos	04
Capítulo 02 - Atuadores Pneumáticos	05
2.1- Atuadores Pneumáticos de Movimento Retilíneo	05
2.2 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Angular	07
2.3- Atuadores Pneumáticos de Movimento Rotativo.....	08
Exercícios Propostos	10
Capítulo 03 - Válvulas Eletropneumáticas.....	13
3.1- Simbologia	13
3.2 - Válvula Eletropneumática Direcional.....	14
3.3 - Válvula Eletropneumática Proporcional.....	19
Exercícios Propostos	21
Capítulo 04 - Máquinas Elétricas	23
4.1 - Motor de Corrente Contínua.....	23
4.2- Motor de Corrente Alternada.....	25
4.3- Motor de Passo.....	29
Exercícios Propostos	32
Capítulo 05 -DispositivosElétricos.....	35
5.1 - Dispositivos de Comando	35
5.2 - Dispositivos de Proteção.....	40

5.3 - Dispositivos de Regulação.....	44
5.4 - Dispositivos de Sinalização.....	49
Exercícios Propostos	51
Capítulo 06 - Sensores Elétricos	53
6.1- Sensor de Contato com Acionamento Mecânico.....	53
6.2- Sensor de Contato com Acionamento Magnético.....	54
6.3 - Sensor de Proximidade.....	55
6.4 - Sensor Fotoelétrico	57
6.5 - Outros Sensores	58
Exercícios Propostos	60
Capítulo 07 - Circuitos Elétricos Básicos	63
7.1 - Circuitos Elétricos Lógicos	63
7.2 - Acionamento de Atuadores Pneumáticos	68
7.3 - Acionamento de Máquinas Elétricas.....	85
Exercícios Propostos	88
Capítulo 08 - Circuitos Elétricos Sequenciais	89
8.1 - Sequência de Operações	89
8.2 - Diagrama de Acionamento dos Sensores	92
8.3 - Diagrama de Comando dos Atuadores	93
8.4- Método Sequencial.....	95
Exercícios Propostos	126
Apêndice - Respostas dos Exercícios Propostos.....	129

Introdução

1

1.1 - Energia Elétrica

1.2 - Energia Pneumática

1.3 - Sistemas Eletropneumáticos

Exercícios Propostos

1.1 - Energia Elétrica

A energia elétrica, desde a sua descoberta, tem sido um caminho usado pelo homem para lhe proporcionar benefícios. Hoje em dia, podemos observar que a sua transformação em outras formas de energia (mecânica, luz, calor etc.) tem facilitado a execução de vários processos, entretanto ela precisa ser muito bem conhecida para poder ser usufruída sem oferecer perigo ao usuário.

O surgimento de um campo magnético produzido pela passagem da corrente elétrica em condutores é uma das mais importantes descobertas realizadas pelo homem. Este fenômeno chama-se eletromagnetismo e diversos dispositivos elétricos funcionam baseados neste efeito, tais como: motores elétricos, contadores, relês, válvulas eletropneumáticas, etc.

1.2 - Energia Pneumática

A existência física do ar, bem como a sua utilização como forma de energia, é reconhecida há milhares de anos. A palavra pneumática vem do radical grego "pneuma" que significa respiração, vento, e trata do comportamento dos gases.

A energia pneumática provém da compressão do ar atmosférico em um reservatório, transformando-o em ar comprimido a uma dada pressão de trabalho. O equipamento que executa este processo é chamado de compressor.

Apesar de o ar comprimido ser uma velha forma de energia conhecida pelo homem, somente a partir de 1950, ele foi aplicado industrialmente na automação e na racionalização da força humana para trabalhos cíclicos e metódicos. Atualmente, o ar comprimido tornou-se indispensável nos mais diferentes ramos industriais.

1.3 - Sistemas Eletropneumáticos

Atualmente, cada vez mais observamos a combinação de várias formas de energia em processos de fabricação industriais.

A prática ensinou que os conhecimentos de hidráulica, pneumática, eletricidade, eletrônica e suas combinações são igualmente importantes e necessários em automação. Portanto, não devemos valorizar um conhecimento em relação ao outro, mas sim procurar enquadrá-los nas suas aplicações específicas, levando sempre em consideração os fatores técnicos, sociais e principalmente econômicos.

Abordaremos basicamente os processos industriais que utilizam a combinação da energia pneumática com a energia elétrica, a qual chamamos de automação eletropneumática. Um sistema eletropneumático automatizado, conforme mostra a figura 1.1, é composto pelas seguintes partes: elementos de sinal, elementos de trabalho, elementos de comando e elementos de controle.

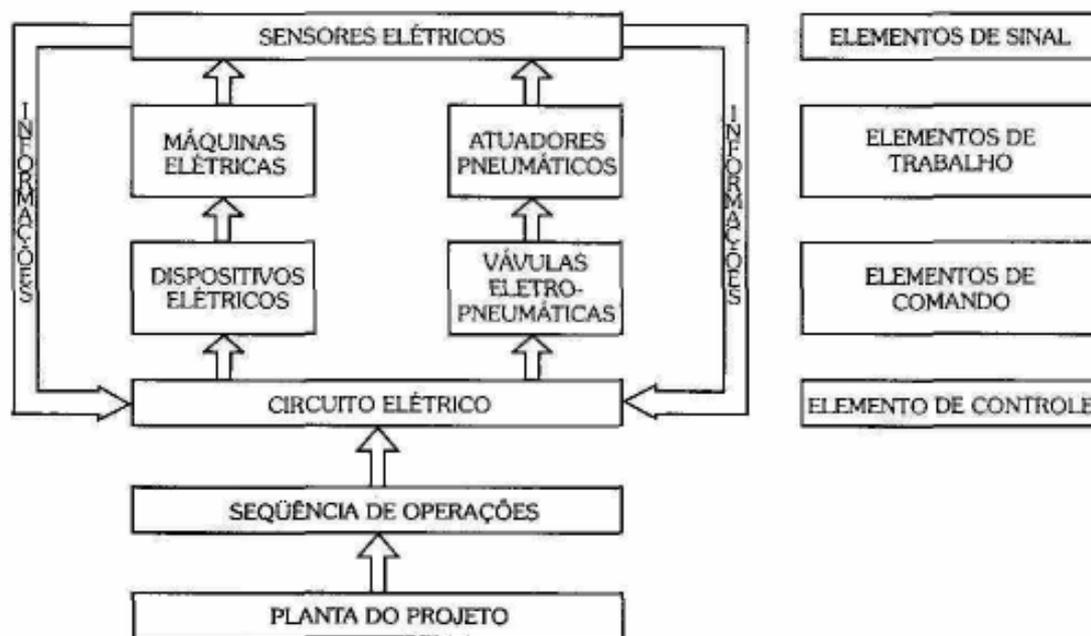


Figura 1.1- Diagrama de um Sistema Eletropneumático Automatizado

A partir da planta do projeto de automação, retira-se a seqüência de operações dos elementos de trabalho, ou seja, um diagrama que informa a posição de cada elemento de trabalho nas etapas do processo automatizado. A partir dessa seqüência de operações, constrói-se o circuito elétrico.

Elementos de Controle

O **elemento de controle** é um circuito elétrico que combina as informações fornecidas pelos sensores elétricos juntamente com a seqüência de operação, gerando o acionamento elétrico para os elementos de comando.

Elementos de Comando

Os **elementos de comando** são válvulas pneumáticas, relês e contatores que, por sua vez, acionam os elementos de trabalho.

Elementos de Trabalho

Os **elementos de trabalho** transformam energia elétrica e pneumática em outras formas de energia. São os motores elétricos, cilindros e motores pneumáticos que executam uma determinada tarefa automaticamente, e ao fazerem isso acionam os **elementos de sinal**.

Elementos de Sinal

Os elementos de sinal são sensores elétricos que informam continuamente ao elemento de controle sobre o andamento do processo automatizado.

Vemos por este mecanismo, que há uma realimentação contínua dos sensores elétricos, informando ao elemento de controle o estado atual de cada elemento de trabalho. Com base nessas informações é que o elemento de controle comanda a etapa seguinte. Isto se dá de maneira cíclica, estabelecendo-se um processo automatizado.

Nos próximos capítulos, abordaremos cada elemento que compõe o sistema eletropneumático automatizado para, em seguida, mostrarmos de que forma um sistema eletropneumático automatizado pode ser implementado.

Exercícios Propostos

1.1- Após ler o texto referente à figura 1.1, que trata do diagrama de um sistema eletropneumático automatizado, responda:

- a) O que é seqüência de operação num processo automatizado?
- b) O que faz o elemento de controle no sistema?
- c) Qual a importância dos sensores elétricos num sistema automatizado?

Atuadores Pneumáticos

2

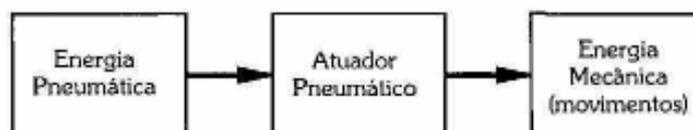
2.1 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Retilíneo

2.2 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Angular

2.3 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Rotativo

Exercícios Propostos

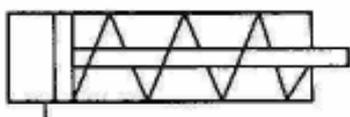
Os atuadores pneumáticos são responsáveis pela transformação da energia pneumática em energia mecânica (movimentos retilíneo, angular e rotativo).



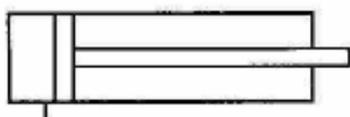
2.1 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Retilíneo

Cilindro de Simples Ação

Este tipo de cilindro é acionado pelo ar comprimido apenas de um lado, realizando trabalho em um só sentido. O seu desacionamento é executado mediante a ação de uma força externa ou por uma mola interna sendo que, neste último caso, o comprimento do curso do cilindro fica limitado ao comprimento da mola.



Cilindro de simples ação com retorno por mola interna.



Cilindro de simples ação com retorno por força externa.



Cilindro de simples ação com avanço por mola interna.

Figura 2.1 - Representação dos Cilindros de Simples Ação.

Cilindro de Dupla Ação

Neste tipo de cilindro, o ar comprimido produz movimento nos dois sentidos. Teremos avanço e retorno do cilindro através da energia pneumática.

Quando grandes cargas são movimentadas por este tipo de cilindro, deve existir no mesmo um sistema de amortecimento pneumático que evite danificações devido aos fortes impactos nos fins de curso.



Cilindro de dupla ação sem amortecimento.



Cilindro de dupla ação com amortecimento não regulável.



Cilindro de dupla ação com amortecimento regulável em ambos os lados.

Figura 2.2 - Representação dos Cilindros de Dupla Ação.

Cilindro de Dupla Ação com Haste Passante

Neste tipo de cilindro, as forças de avanço e retorno são iguais porque as faces do êmbolo apresentam a mesma área para a aplicação da pressão. Uma outra vantagem deste elemento é que a haste é melhor guiada, devido à existência de dois mancais.



Figura 2.3 - Representação do Cilindro com Haste Passante.

Cilindro de Dupla Ação com Acoplamento Magnético

Neste tipo de cilindro, o ar comprimido desloca, em ambos os sentidos, um êmbolo magnético interno cilíndrico. Externamente à camisa do cilindro, um cursor magnético acompanha o movimento do êmbolo interno através do acoplamento magnético.

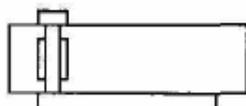


Figura 2.4 - Representação do Cilindro com Acoplamento Magnético.

2.2 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Angular

Cilindro Rotativo

Neste tipo de cilindro, a haste do êmbolo tem um perfil dentado que aciona uma engrenagem, transformando o movimento linear em rotativo, à esquerda ou à direita, conforme o sentido do movimento do êmbolo. Estes cilindros são fabricados para executarem cursos definidos, ou seja, ângulos exatos, como por exemplo: 90°, 180°, 270° etc.

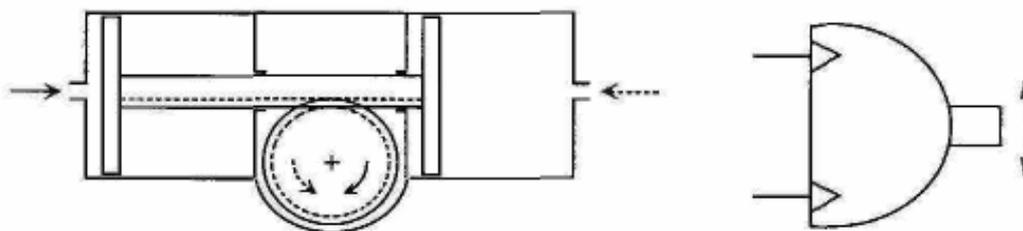


Figura 2.5 - Representação do Cilindro Rotativo.

Cilindro de Aleta Giratória

Como nos cilindros rotativos, também nos de aleta giratória é possível o giro angular, mas com a diferença de que nele podemos definir o ângulo de giro no próprio elemento. A faixa de regulação pode ser de até 300° em alguns cilindros de aleta giratória.

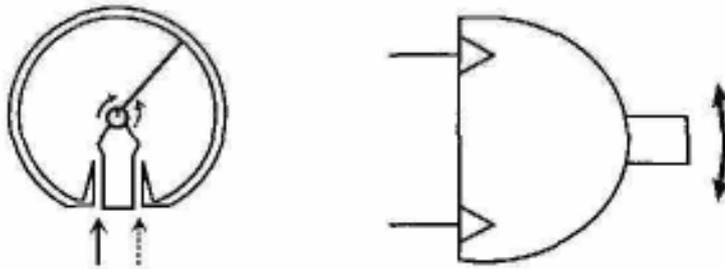
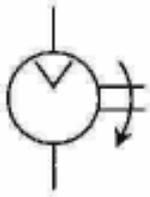


Figura 2.6 - Representação do Cilindro de Aleta Giratória.

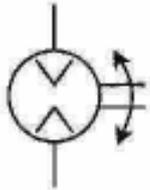
2.3 - Atuadores Pneumáticos de Movimento Rotativo

São os motores a ar comprimido. Estes elementos transformam energia pneumática em energia mecânica de rotação. Os motores pneumáticos estão classificados, segundo a construção, em:

- motores de pistão;
- motores de engrenagem;
- motores de palhetas;
- turbomotores.



Motor pneumático com velocidade constante com um sentido de rotação.



Motor pneumático com velocidade constante com dois sentidos de rotação.

Figura 2.7 - Representação dos Atuadores Pneumáticos Rotativos.

O motor de palhetas é o mais utilizado industrialmente, é de simples construção e possui peso e volume reduzidos.

O seu princípio de funcionamento baseia-se na ação da força centrífuga sobre palhetas móveis colocadas nas ranhuras do rotor. Este rotor é fixado fora de centro, podendo ser acionado em ambos os sentidos de rotação, conforme mostra a figura 2.8.

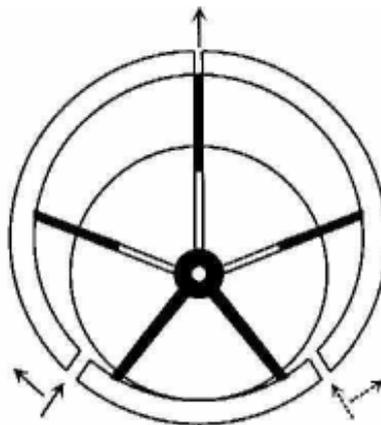


Figura 2.8 - Representação do Motor Pneumático de Palhetas.

Ao ligar o ar comprimido, o rotor começa a girar e as palhetas são afastadas contra a superfície interna garantindo, com isso, a vedação das câmaras e a aceleração do motor.

As principais características dos motores pneumáticos são:

- Leves e pequenos;
- Seguros contra sobrecargas;
- Reversíveis quanto ao sentido de rotação;
- Manutenção e conservação insignificantes.

Para a escolha de atuadores pneumáticos, devemos levar em consideração as seguintes especificações:

- Movimentos retilíneos: pressão nominal, força efetiva no êmbolo e o comprimento do curso.
- Movimentos angulares: pressão nominal, torque no eixo e deslocamento angular.
- Movimentos rotativos: pressão nominal, torque no eixo e velocidade máxima.

Exercícios Propostos

2.1- Complete as sentenças:

- a) Os atuadores pneumáticos têm a função de transformar a energia pneumática em movimentos _____, _____ e _____.
- b) Existem atuadores pneumáticos de movimento _____, _____ e _____.
- c) Os atuadores pneumáticos são elementos de:

2.2- Complete com V ou F.

- a) () O cilindro de simples ação possui retomo por mola ou retomo por ar comprimido.
- b) () Cilindros de dupla ação são assim chamados porque executam duas funções: avançar e permanecer avançado.

c) () Cilindros com haste passante têm a vantagem de ser melhor guiados no seu curso.

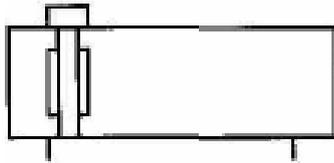
d) () O cilindro rotativo é um tipo de cilindro cujo eixo gira a uma velocidade definida pela pressão do ar comprimido.

e) () Os motores pneumáticos são atuadores pneumáticos de movimento angular.

2.3- Explique o funcionamento do cilindro de dupla ação com acoplamento magnético.

2.4- Por que existem cilindros com amortecimento pneumático?

2.5- Na simbologia de um cilindro, mostrada a seguir:



a) Explique o funcionamento desse cilindro.

b) Como funciona o retorno da haste do cilindro?
Atuadores Pneumáticos

Válvulas Eletropneumáticas

3

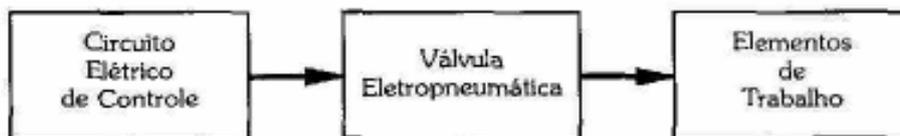
3.1 - Simbologia

3.2 - Válvula Eletropneumática Direcional

3.3 - Válvula Eletropneumática Proporcional

Exercícios Propostos

As válvulas eletropneumáticas são os componentes do sistema eletropneumático automatizado que recebem comandos do circuito elétrico de controle, acionando com isso, os elementos de trabalho pneumáticos, conforme demonstra o diagrama seguinte:



3.1 – Simbologia

Para representar as válvulas eletropneumáticas num sistema automatizado, necessitamos de símbolos que nos dêem a ideia de seu funcionamento, bem como o número de vias, posições e solenóides que elas possuem.

Vias

São os orifícios que a válvula possui para a passagem do ar comprimido. Quanto à função, dividem-se em: conexão de entrada de ar comprimido (pressão), conexões para alimentação dos atuadores pneumáticos (utilização), orifícios de escape. As vias são identificadas através de letras maiúsculas ou números, conforme mostra a seguinte tabela:

Vias	Letras	Números
Pressão	P	1
Utilização	A, B, C	2, 4, 6
Escapes	R, S, T	3, 5, 7

Posições

É o número de estados que a válvula pode ter ou permanecer. Cada posição que a válvula pode assumir é representada por meio de um quadrado.

As linhas dentro destes quadrados indicam as vias de passagem de ar comprimido e as setas indicam o sentido. O bloqueio das vias é representado através de traços horizontais e o interligamento é identificado por um ponto.

As conexões da válvula com o sistema são representadas por linhas externas no estado de repouso da válvula, juntamente com a identificação destas conexões. O estado de repouso é a posição que a válvula assume enquanto não é acionada eletricamente, que é representado no diagrama.

Solenóides

O sistema de acionamento das válvulas é representado externamente por meio de solenóides. Pode-se ter válvulas acionadas por um solenóide, conhecidas como válvulas com comando unidirecional e válvulas acionadas por dois solenóides, identificadas como válvulas com comando bidirecional.

3.2 - Válvula Eletropneumática Direcional

O funcionamento deste tipo de válvula baseia-se no deslocamento de um núcleo metálico mediante a ação de um campo magnético, determinando a trajetória do fluxo de ar. A força magnética, por sua vez, é criada pela circulação da corrente elétrica no solenóide da válvula. A válvula eletropneumática pode ser encontrada em várias versões. A seguir, são mostradas algumas delas:

Válvula Eletropneumática de 2 Vias e 2 Estados (2/2) com Acionamento Unidirecional

A posição de repouso desta válvula é normalmente fechada, bloqueando a passagem do ar comprimido.

Acionando-se o solenóide Y, a válvula troca de estado, permitindo a passagem do ar comprimido do orifício P para o A. Enquanto o solenóide estiver acionado por intermédio da corrente elétrica, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

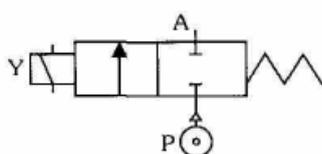


Figura 3.1 - Válvula Eletropneumática de 2/2 com Acionamento Unidirecional.

Válvula Eletropneumática de 3 Vias e 2 Estados (3/2) com Acionamento Unidirecional

Na posição de repouso desta válvula, há o bloqueio da via de pressão P e o orifício de utilização A é direcionado ao escape R.

Acionando-se o solenóide Y, a válvula troca de estado, bloqueando o escape R e possibilita a passagem do ar comprimido do orifício P para o A. Enquanto o solenóide estiver acionado, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

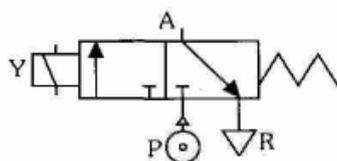


Figura 3.2 - Válvula Eletropneumática de 3/2 com Acionamento Unidirecional.

Válvula Eletropneumática de 4 Vias e 2 Estados (4/2) com Acionamento Unidirecional

Na posição de repouso desta válvula, o orifício P é direcionado à via B e a via A é ligada ao escape R.

Acionando-se o solenóide Y, a válvula troca de estado, ligando o orifício P ao A e a sua via B ao escape R. Enquanto o solenóide estiver acionado, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

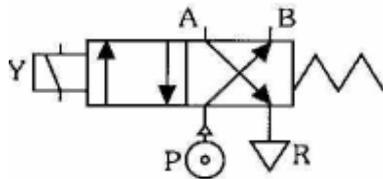


Figura 3.3 - Válvula Eletropneumática de 4/2 com Acionamento Unidirecional.

Válvula Eletropneumática de 5 Vias e 2 Estados (5/2) com Acionamento Unidirecional

Na posição de repouso desta válvula, o orifício P é direcionado ao B e a via A é ligada ao escape R, não sendo utilizado o escape S.

Acionando-se o solenóide Y, a válvula troca de estado, ligando o orifício P ao A, a via B é ligada a S e o escape R não é usado. Enquanto o solenóide estiver acionado, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

Acionando-se o solenóide Y, a válvula troca de estado, ligando o orifício P ao A, a via B é ligada a S e o escape R não é usado. Enquanto o solenóide estiver acionado, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

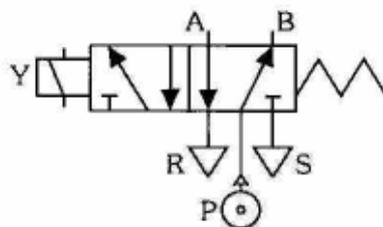


Figura 3.4 - Válvula Eletropneumática de 5/2 com Acionamento Unidirecional.

Válvula Eletropneumática de 4 Vias e 2 Estados (4/2) com Acionamento Bidirecional

Na válvula com acionamento bidirecional, não há necessidade de se manter a corrente elétrica no solenóide para que ela permaneça em um determinado estado. O acionamento e o desacionamento são executados por pulsos de corrente elétrica de curta duração.

Um pulso de corrente no solenóide Y1 faz com que a válvula troque de estado, ligando o orifício P ao A e a via B ao escape R, conforme se observa na figura 3.5. Após o término deste pulso de corrente, a válvula se mantém neste estado até que seja dado um pulso de corrente no solenóide Y2.

Um pulso de corrente no solenóide Y2 faz com que a válvula troque novamente o seu estado, ligando o orifício P ao B e a via A ao escape R. Após o término deste pulso de corrente, a válvula se mantém neste estado até que outra vez seja dado um pulso de corrente no solenóide Y1, voltando ao estado anterior.

Este comportamento é similar a uma memória, permanecendo num determinado estado até que um comando seja dado para trocar o estado do solenóide. No caso de acionamento dos dois solenóides, a válvula permanece no estado relativo ao solenóide que primeiro foi comandado.

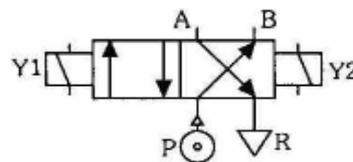


Figura 3.5 - Válvula Eletropneumática de 4/2 com Acionamento Bidirecional.

Válvula Eletropneumática de 5 Vias e 2 Estados (5/2) com Acionamento Bidirecional

O funcionamento é similar ao da válvula anterior, com a diferença de que os orifícios de utilização A e B possuem escapes individuais R e S.

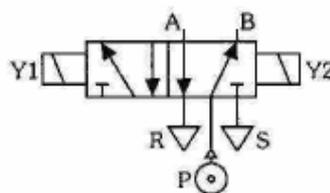


Figura 3.6 - Válvula Eletropneumática de 5/2 com Acionamento Bidirecional.

Para transformar as válvulas eletropneumáticas 5/2 e 4/2 em válvulas 3/2, basta bloquear externamente o orifício B.

Válvula Eletropneumática de 5 Vias e 4 Estados (5/4)

Esta válvula é composta pela combinação de 2 válvulas (3/2) com comando unidirecional. Na posição de repouso, há o bloqueio da via de pressão P e os orifícios de utilização A e B são direcionados, respectivamente, aos escapes R e S.

No acionamento de um dos solenóides, o funcionamento é idêntico ao da válvula (5/2) com comando unidirecional.

No caso do acionamento simultâneo dos dois solenóides, a válvula troca de estado, ligando o orifício P às saídas A e B.

Esta válvula é apropriada para o acionamento do motor pneumático de palhetas nos dois sentidos de rotação, frenagem instantânea com rotor travado e rotor livre.

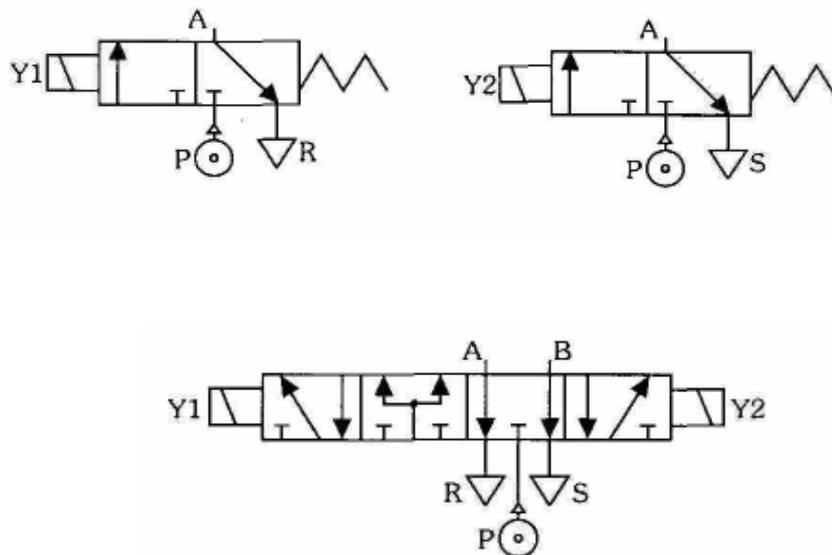
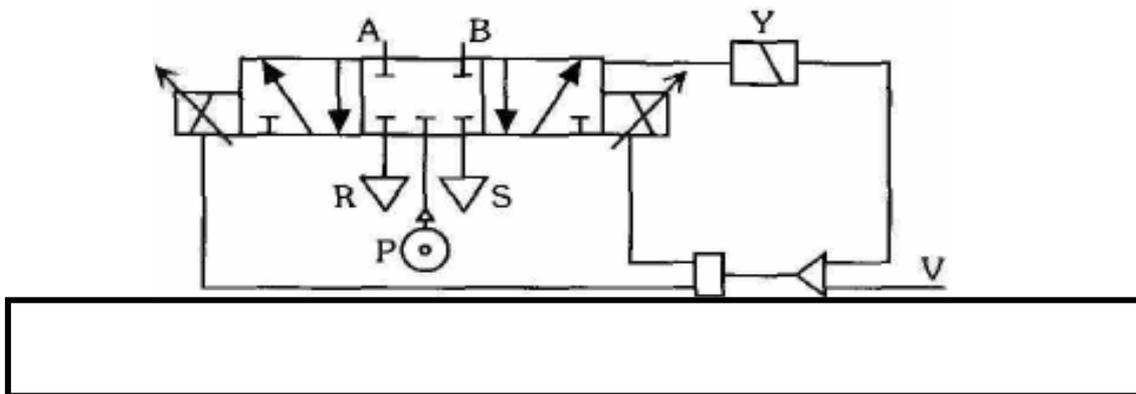


Figura 3.7 - Válvula Eletropneumática de 5/4.

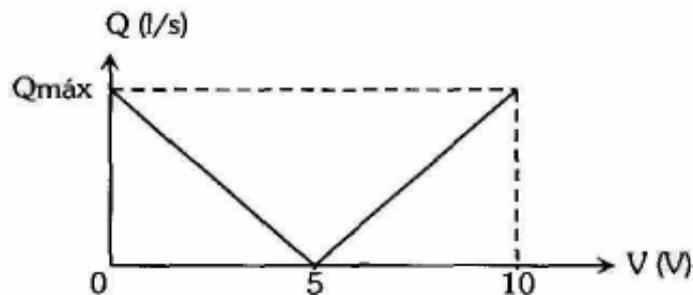
3.3 - Válvula Eletropneumática Proporcional

É uma válvula que controla a vazão ou a pressão de um sistema proporcionalmente a um dado valor de tensão elétrica na entrada.

Válvula Eletropneumática Proporcional de Vazão



(a) Representação



(b) Curva Característica

Figura 3.8 - Válvula Proporcional de Vazão.

A figura 3.8 mostra a representação de uma válvula eletropneumática proporcional de vazão e a sua curva característica vazão (Q) X tensão elétrica (V).

O estado central é a posição de repouso da válvula na qual todas as vias estão bloqueadas, ou seja, com vazão zero. Esta condição é obtida aplicando-se na válvula uma tensão de 5V.

Aplicando-se na válvula uma rampa decrescente, de 5V até 0V, a vazão aumenta proporcionalmente desde zero até a vazão máxima ($Q_{máx}$) no sentido da conexão P para B, sendo o orifício A conectado ao escape R.

Aplicando-se na válvula um rampa crescente, de 5V até 10V, a vazão aumenta proporcionalmente desde zero até a vazão máxima ($Q_{\text{máx}}$), só que no sentido da conexão P para A, sendo que o orifício B é conectado ao escape S.

Este tipo de válvula é usado para controlar a velocidade e o sentido de rotação em motores pneumáticos e para o posicionamento de cilindros de dupla ação com acoplamento magnético.

Válvula Pneumática Proporcional de Pressão

A figura 3.9 mostra a representação de uma válvula pneumática proporcional de pressão e sua curva característica pressão relativa de saída (P_r) X tensão elétrica (V).

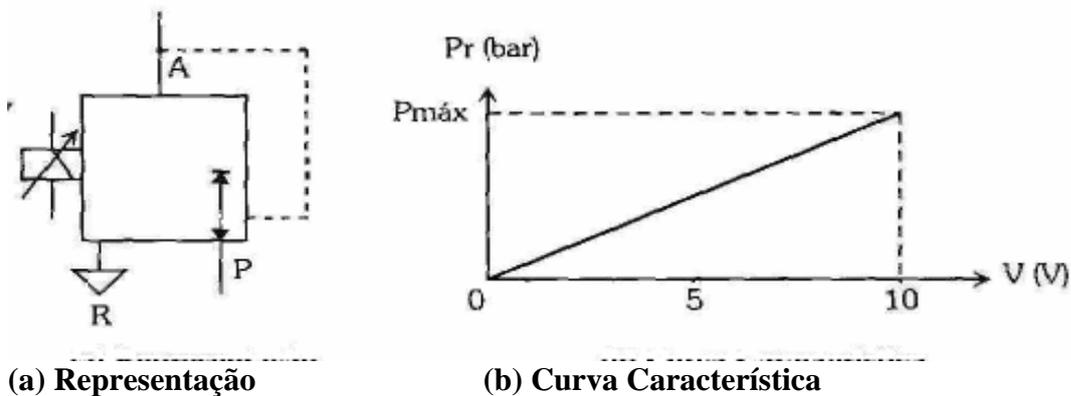


Figura 3.9 - Válvula Proporcional de Pressão.

Aplicando-se no solenóide uma rampa de tensão crescente, de 0V até 10V, a pressão relativa no orifício A aumenta de zero até a pressão máxima ($P_{\text{máx}}$) proporcionalmente.

Este tipo de válvula é usado para controle de força em cilindros e de torque em motores pneumáticos.

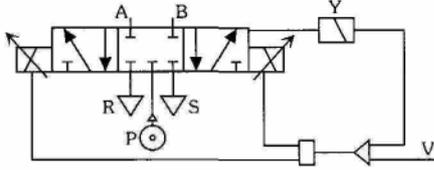
Para a escolha de válvulas eletropneumáticas, devemos levar em consideração as especificações de pressão nominal, vazão máxima e tensão de acionamento do solenóide.

Exercícios Propostos

3.1- Relacione a 1a coluna com a 2- coluna:

3.2- Complete as seguintes sentenças

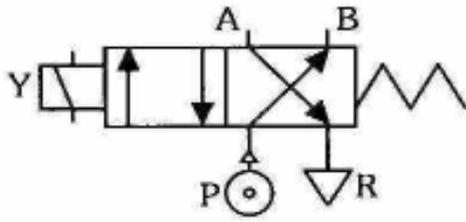
- As vias de _____ são orifícios para a entrada do ar comprimido.
- Os números 2,4,6 representam as vias de _____.
- A seguinte válvula possui _____ vias e _____ estados.

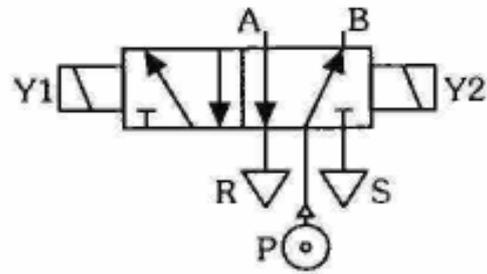


- A corrente que circula pelo solenóide da válvula tem a função de _____ a trajetória do _____.

Válvulas Eletropneumáticas 21

3.3- Identifique as seguintes válvulas e descreva a sua provável utilização.





3.4- As válvulas proporcionais controlam a vazão ou a pressão do ar comprimido sobre os elementos de trabalho. Como as válvulas executam este controle?

3.5- Procure encontrar alguma válvula eletropneumática convencional (no comércio ou na indústria) e identifique:

- a) Número de vias
- b) Número de estados
- c) Se é válvula com acionamento unidirecional ou bidirecional
- d) As tensões de trabalho do solenóide.

Máquinas Elétricas

4

- 4.1 - Motor de Corrente Contínua
 - 4.2 - Motor de Corrente Alternada
 - 4.3 - Motor de Passo
- Exercícios Propostos

O motor é um **elemento de trabalho** que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação. Já o gerador é uma máquina que converte energia mecânica de rotação em energia elétrica. Esta energia mecânica pode ser fornecida pela ação da água, vento, vapor etc.

Num motor elétrico, distinguem-se essencialmente duas peças: o estator, conjunto de elementos fixados à carcaça da máquina, e o rotor, conjunto de elementos fixados em torno do eixo, internamente ao estator.

4.1 Motor de Corrente Contínua

A figura 4.1 mostra esquematicamente a representação de um motor de corrente contínua. O estator, neste caso, é formado pelas bobinas de campo e pelas escovas, enquanto que o rotor é constituído pelas bobinas da armadura e pelo comutador.

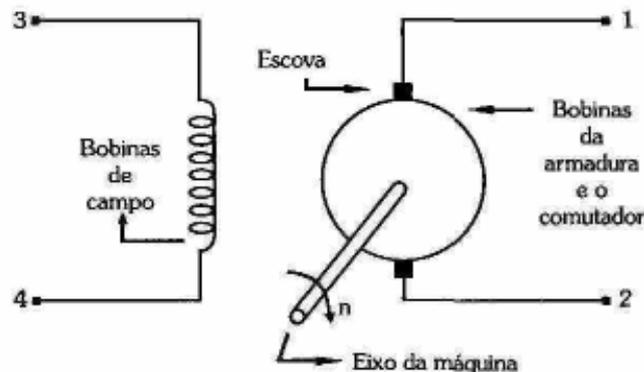


Figura 4.1 - Representação Esquemática do Motor de Corrente Contínua.

O motor de corrente contínua apresenta quatro terminais acessíveis, dois para as bobinas de campo e dois para as bobinas da armadura. Em alguns motores de baixa potência, as bobinas de campo são substituídas por ímãs permanentes. Neste caso, a máquina apresenta apenas dois terminais de acesso.

O princípio de funcionamento baseia-se na ação de forças magnéticas sobre o rotor, geradas pela interação do campo magnético do estator com o do rotor. As bobinas de campo e armadura podem ser associadas em paralelo ou em série, conforme mostra a figura 4.2.

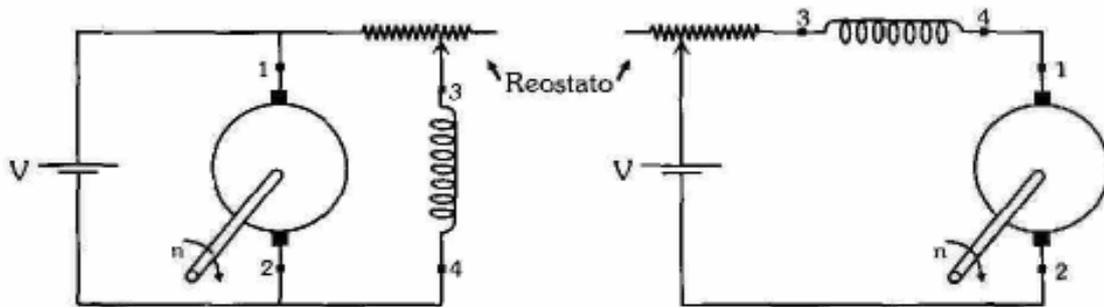


Figura 4.2 - Ligações Elétricas: Paralela e Série.

A principal aplicação dos motores de corrente contínua é o acionamento de velocidade variável. O método mais utilizado para o controle de velocidade é o de ajuste da intensidade da corrente elétrica nas bobinas de campo, ou seja, o do controle do fluxo magnético. Esta regulação é realizada através do acionamento manual de um reostato (resistor variável).

Independente da ligação, série ou paralelo, a velocidade mais baixa é obtida com a resistência do reostato igual a zero, gerando um fluxo magnético máximo nas bobinas de campo, enquanto a velocidade mais alta é limitada eletricamente pelo valor de resistência máxima do reostato, que gera um fluxo magnético mínimo.

Deve se ter, portanto, o cuidado para não abrir os terminais da bobina de campo do motor ligado em paralelo, já que isto seria como introduzir um reostato de resistência infinita. Com isso o fluxo magnético é mínimo (próximo de zero) e a velocidade é máxima, podendo ocasionar a destruição do motor.

O torque é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético nas bobinas de campo e tem seu valor mais alto na velocidade mais baixa, portanto o motor de corrente contínua com controle de velocidade por

reostato de campo é considerado uma máquina de potência mecânica constante, já que o torque é proporcional à corrente nas bobinas de campo.

O motor de corrente contínua com seus enrolamentos associados em série possui um elevado torque na partida e também pode funcionar com corrente alternada. Devido a esta última característica ele é conhecido como motor universal.

Para a inversão do sentido de rotação nos motores de corrente contínua, basta inverter as conexões das bobinas de campo (trocar o terminal 3 pelo 4) ou inverter as conexões da bobina da armadura (trocar o terminal 1 pelo 2). Caso o motor seja de imã permanente, basta inverter os terminais da armadura.

4.2 Motor de Corrente Alternada

Neste tipo de motor, o fluxo magnético do estator é gerado nas bobinas de campo pela corrente alternada da fonte de alimentação, portanto trata-se de um campo magnético cuja intensidade varia continuamente e cuja polaridade é invertida periodicamente. Quanto ao rotor, há dois casos a considerar:

Motor Síncrono

No motor síncrono, o rotor é constituído por um imã permanente ou bobinas alimentadas em corrente contínua mediante anéis coletores. Neste caso, o rotor gira com frequência igual à da corrente do estator, isto é, em sincronia.

Motor Assíncrono ou de Indução

No motor assíncrono ou de indução, o rotor possui vários condutores conectados em curto-circuito no formato de uma "gaiola de esquilo". O campo magnético variável do estator induz correntes senoidais nestes condutores. Estas correntes induzidas, por sua vez, criam um campo magnético no rotor que se opõe ao campo indutor do estator, fazendo com que o rotor gire com uma velocidade um pouco inferior à frequência da corrente do estator, isto é, sem sincronia. A esta diferença de frequências chamamos de **escorregamento** simbolizado pela letra S, em valores percentuais. Este motor é largamente usado na indústria pela sua simplicidade construtiva e baixo custo.

Os motores de corrente alternada possuem uma velocidade síncrona n_s expressa pela seguinte fórmula:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

- Onde: $n_s \Rightarrow$ velocidade síncrona do motor [rpm]
 $f \Rightarrow$ frequência da corrente no estator [Hz]
 $p \Rightarrow$ número de pólos magnéticos da máquina

O escorregamento percentual S dos motores de indução é expresso através da seguinte fórmula:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

Onde: $n \Rightarrow$ velocidade do motor [rpm]

Exemplo:

Um motor de indução de 5c.v. e 4 pólos é alimentado pela rede de 220/380V - 60 Hz. Calcule a velocidade do motor, a plena carga, com um escorregamento de 5%.

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \Rightarrow n_s = \frac{120 \cdot 60}{4} \Rightarrow n_s = 1800 \text{rpm}$$

$$n = n_s - S \cdot n_s = n_s \cdot (1 - S) = 1800 \cdot (1 - 0,05) = 1710 \text{rpm}$$

Nota-se, através da fórmula, que a velocidade de um motor de indução pode ser controlada pela variação da frequência da corrente nas bobinas do estator. Este tipo de acionamento é realizado através de um conversor estático de frequência.

Os motores de corrente alternada podem ser monofásicos e trifásicos.

Motor de Indução Monofásico

É um motor elétrico de pequena ou média potência, geralmente menores que 5 CV. Para a produção do conjugado de partida o motor de indução monofásico necessita de um segundo enrolamento de partida auxiliar (E_a) defasado de 90° construtivamente do enrolamento de trabalho (E_t), conforme mostra a figura 4.3.

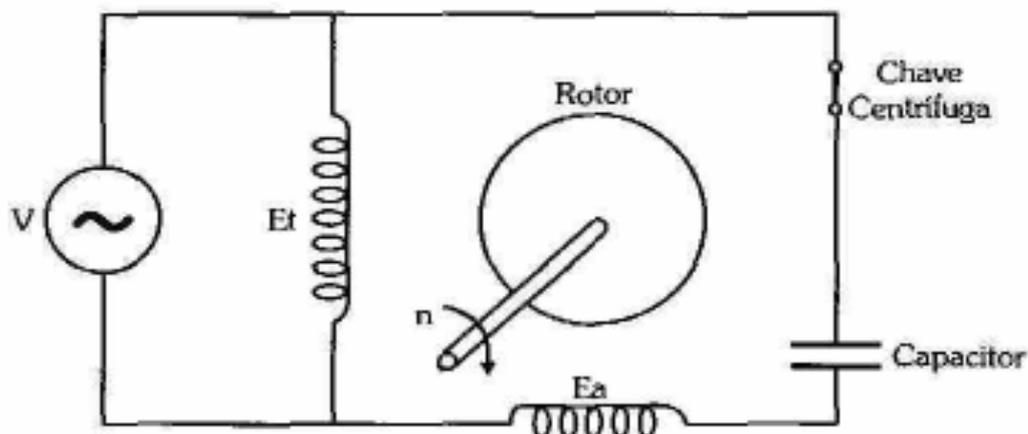
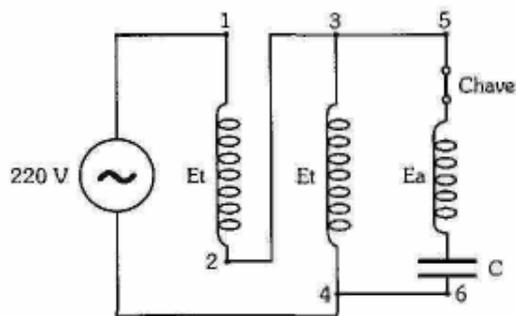


Figura 4.3 - Motor de Indução Monofásico.

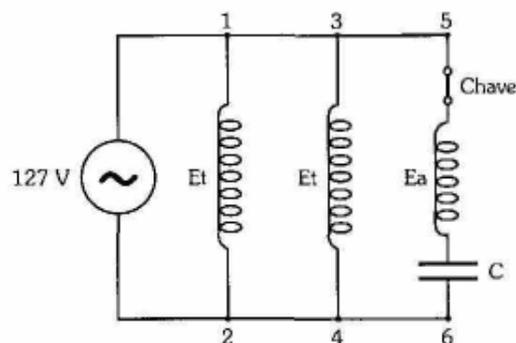
O resultado da ação das correntes nos enrolamentos de trabalho e auxiliar é um campo magnético girante no estator, que faz o motor partir. Após a partida, o enrolamento auxiliar é desligado através de uma chave centrífuga que opera a cerca de 75% da velocidade síncrona. O conjugado de partida, neste caso, é moderado.

Para aumentar o conjugado de partida é usado um capacitor ligado em série com o enrolamento auxiliar e a chave centrífuga. Esta técnica é utilizada para cargas de partida difícil, tais como: compressores, bombas, equipamentos de refrigeração etc.

O motor de indução monofásico apresenta seis terminais acessíveis, sendo quatro para os enrolamentos de trabalho (1,2,3 e 4) e dois para o circuito auxiliar de partida (5 e 6). A figura 4.4 mostra o esquema de ligação do motor de indução monofásico para as tensões de alimentação de 220V e 127V fase-neutro.



(a) Ligação em Série para 220 V



(b) Ligação em Paralelo para 127 V

Figura 4.4 - Esquemas de Ligação do Motor de Indução Monofásico.

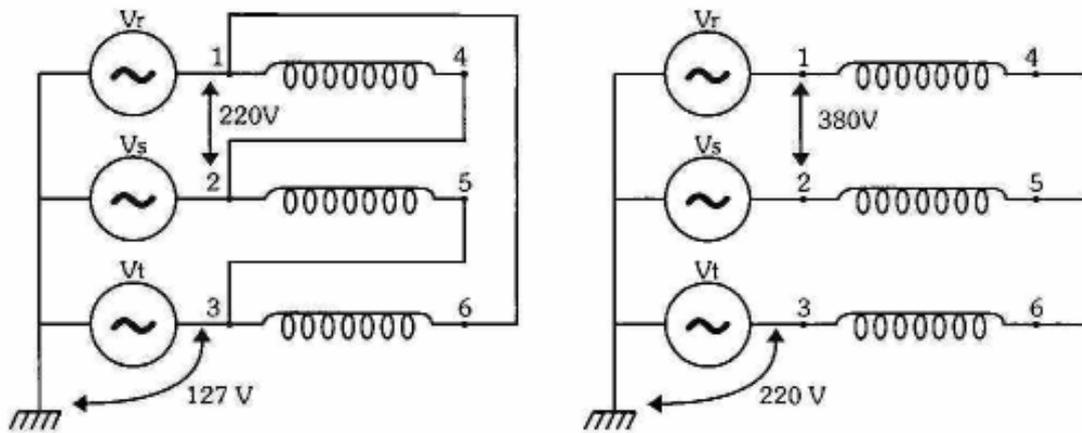
Em alguns motores de baixa potência, o circuito auxiliar de partida é substituído por espiras curto-circuitadas, chamadas de bobinas de arraste. Neste caso, a máquina apresenta dois ou quatro terminais para as bobinas de trabalho.

Para a inversão do sentido de rotação no motor de indução monofásico, basta inverter as conexões do circuito auxiliar, ou seja, trocar o terminal 5 pelo 6. No motor com bobina de arraste, não é possível inverter o sentido de rotação.

Motor de Indução Trifásico

É um motor elétrico de pequena, média ou grande potência que não necessita de circuito interno para a partida, ou seja, é mais simples, menor, e menos pesado que o motor de indução monofásico de mesma potência..

O motor de indução trifásico apresenta seis terminais acessíveis, dois para cada enrolamento. A figura 4.5 apresenta o esquema de ligação dos enrolamentos de trabalho deste motor para as tensões de alimentação de linha de 220V e 380V.



(a) Ligação em Delta A -> 220V

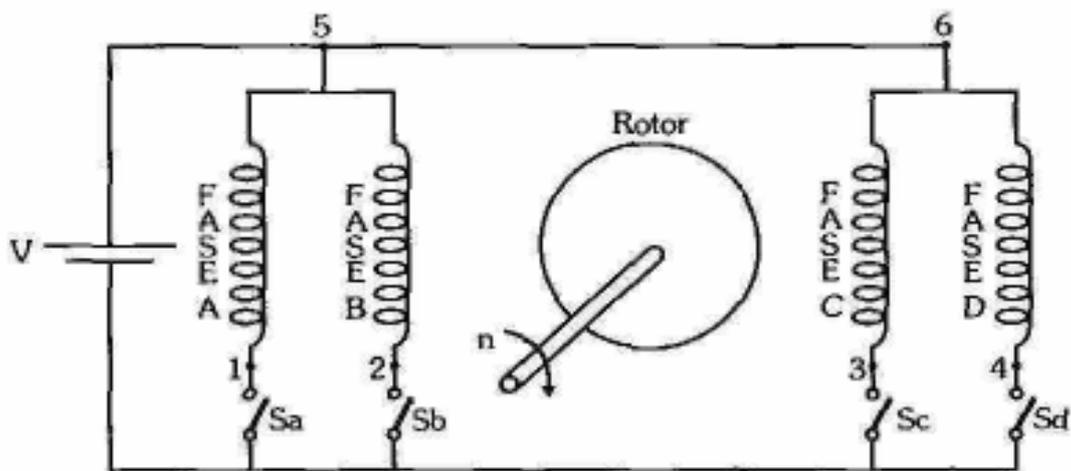
Ligação em Estrela Y -> 380V

Figura 4.5 - Esquemas de Ligação do Motor de Indução Trifásico.

Para a inversão no sentido de rotação nos motores de indução trifásicos, basta inverter duas das conexões do motor com as fontes de alimentação.

4.3 Motor de Passo

O motor de passo é constituído por um rotor magnético (imã permanente ou imantado) e um estator formado por conjuntos de bobinas denominadas fases. Os motores de passo mais comuns possuem quatro fases e seis terminais acessíveis. A figura 4.6(a) apresenta este tipo de motor juntamente com o circuito simplificado de acionamento.

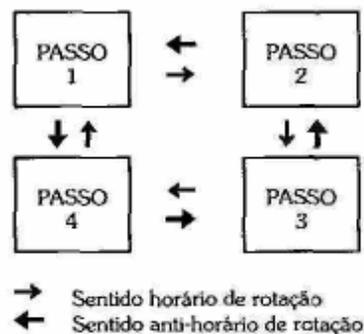


(a) Circuito Simplificado de Acionamento

Passo	Sa	Sb	Sc	Sd
1	1	0	1	0
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0

1 = Chave fechada

0 = Chave aberta



→ Sentido horário de rotação
 ← Sentido anti-horário de rotação

(b) Seqüência de Comando

Figura 4.6 - Motor de Passo.

Cada fase é energizada quando a sua respectiva chave é fechada. A figura 4.6(b) mostra a seqüência de comandos do motor de passo para os dois sentidos de rotação.

Se o motor permanecer num determinado passo, o rotor fica travado devido à força eletromagnética entre o rotor e o estator. Para liberar o rotor, ou seja, deixá-lo em movimento livre, basta abrir todas as chaves do circuito de comando.

A cada passo executado, o eixo do motor realiza um determinado deslocamento angular. Este deslocamento é conhecido como ângulo de passo, sendo repetido precisamente em cada passo. Podemos, ainda, comandar um

mesmo motor de passo de forma diferente, tal que produza um deslocamento angular de meio passo a cada passo. A figura 4.7 mostra como é possível executar este tipo de acionamento.

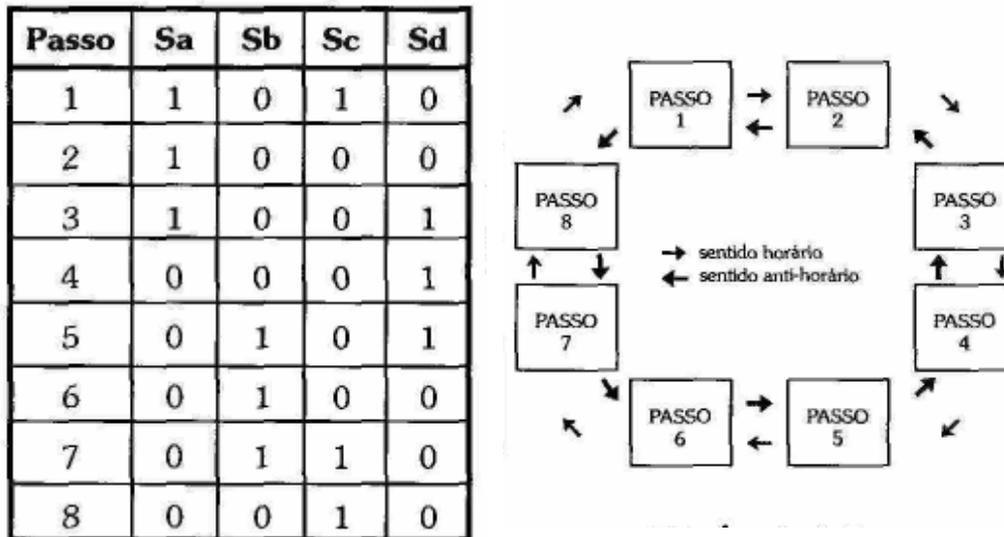


Figura 4.7 - Sequência de Comando para Meio Ângulo de Passo.

A velocidade do motor de passo é diretamente proporcional à frequência de comutação das chaves do circuito de comando. O torque, porém, diminui sensivelmente com o aumento da velocidade.

A seguinte tabela mostra os valores de ângulo de passo e meio ângulo de passo com seus respectivos números de passos por volta dos motores mais utilizados.

Motores de Passo	Ângulo de Passo	Passos por Volta	Meio Ângulo de Passo	Passos por Volta
A	0,72°	500	0,36°	1000
B	1,80°	200	0,90°	400
C	2,00°	180	1,00°	360
D	2,50°	144	1,25°	288
E	5,00°	72	2,50°	144
F	7,50°	48	3,75°	96
G	15,00°	24	7,50°	48

O motor de passo é empregado em máquinas que necessitam de um controle preciso de posição, tais como: robôs, impressoras, plotters, equipamentos de coordenadas etc.

Para a escolha dos motores elétricos, devemos levar em consideração as especificações de potência nominal, tensão de acionamento e velocidade.

Exercícios Propostos

4.1- O que faz um motor elétrico?

4.2- O estator é formado por bobinas fixas à _____ do motor, enquanto o rotor é formado por elementos fixos ao _____, interno ao estator.

4.3- Com relação ao motor de corrente contínua, associe a 1ª coluna com a 2ª,

- | | |
|-------------------------|---|
| (a) Escovas | () Elementos do rotor responsáveis pela criação de um campo magnético no rotor. |
| (b) Bobinas de campo | () Elementos do rotor responsáveis pela inversão da corrente nas bobinas do rotor. |
| (c) Bobinas de armadura | () Elementos do estator que levam a corrente da rede elétrica para o rotor. |
| (d) Comutador | () É o número de linhas de campo magnético por unidade de área. |
| (e) Fluxo magnético | () Elemento do estator responsável pela criação de um campo magnético que envolve o rotor. |

4.4- Escreva V ou F de acordo com a afirmação:

- O campo magnético de motores de corrente contínua oscila periodicamente com a mesma frequência da rede de alimentação.
- O motor síncrono gira a uma velocidade diretamente proporcional ao número de pólos e inversamente proporcional à frequência.
- A função do enrolamento auxiliar nos motores monofásicos é produzir um conjugado de partida. Sem ele os motores monofásicos não partem.
- A função do capacitor nos motores trifásicos é a de produzir um torque maior na partida.
- Para inverter a rotação dos motores monofásicos basta trocar o enrolamento auxiliar pela bobina de arraste.
- O motor 3Φ não precisa de enrolamento auxiliar porque ele já possui 3 bobinas, sendo 2 auxiliares.

4.5- O que significa para o motor de passo possuir 500 passos por volta?

4-6- Defina "ângulo de passo" e "meio ângulo de passo" no motor de passo.

4.7- Como se varia a velocidade de um motor de passo?

Dispositivos Elétricos

5

5.1 - Dispositivos de Comando

5.2 - Dispositivos de Proteção

5.3 - Dispositivos de Regulação

5.4 - Dispositivos de Sinalização

Exercícios Propostos

Os dispositivos elétricos são componentes do sistema eletropneumático automatizado que recebem os comandos do circuito elétrico de controle e acionam as máquinas elétricas. Alguns dispositivos elétricos aqui apresentados possuem a função de proteção, sinalização ou regulação.

5.1 - Dispositivos de Comando

São elementos de comutação destinados a permitir ou não a passagem da corrente elétrica entre um ou mais pontos de um circuito. Os tipos mais comuns são:

Chave sem Retenção ou Impulso

É um dispositivo que só permanece acionado mediante aplicação de uma força externa. Cessada a força, o dispositivo volta à situação anterior. Este tipo de chave pode ter, construtivamente, contatos normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF), conforme mostra a figura 5.1.

Chave Impulso	Desacionado	Acionado
NA		
NF		

Figura 5.1 - Chaves Tipo Impulso

Chave com Retenção ou Trava

É um dispositivo que uma vez acionado, seu retorno à situação anterior acontece somente através de um novo acionamento. Construtivamente, pode ter contato normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF), conforme mostra a figura 5



Figura 5.2 - Chaves Tipo Trava.

Chave de Contatos Múltiplos com ou sem Retenção

Existem chaves com ou sem retenção de contatos múltiplos NA e NF. A figura 5.3 mostra dois modelos.



(a) Chave Impulso: 2 NA + 2 NF (b) Chave Trava: 2 NA + 1 NF

Figura 5.3 - Chaves de Contatos Múltiplos.

Chave Seletora

É um dispositivo que possui duas ou mais posições podendo selecionar uma entre várias funções em um determinado processo. Este tipo de chave apresenta um ponto de contato comum (C) em relação aos demais contatos. A figura 5.4 apresenta dois tipos de chaves seletoras.



(a) Chave Impulso: 3 Posições

(b) Chave Trava: 2 Posições

Figura 5.4 - Chaves Seletoras.

Para a escolha das chaves, devemos levar em consideração as especificações de tensão nominal e corrente máxima suportável pelos contatos.

Relé

O relé nada mais é do que uma chave impulso acionada pelo campo magnético. Este dispositivo é formado basicamente por uma bobina e pelos seus conjuntos de contatos. A figura 5.5 mostra a estrutura física de um relé e seu símbolo elétrico.

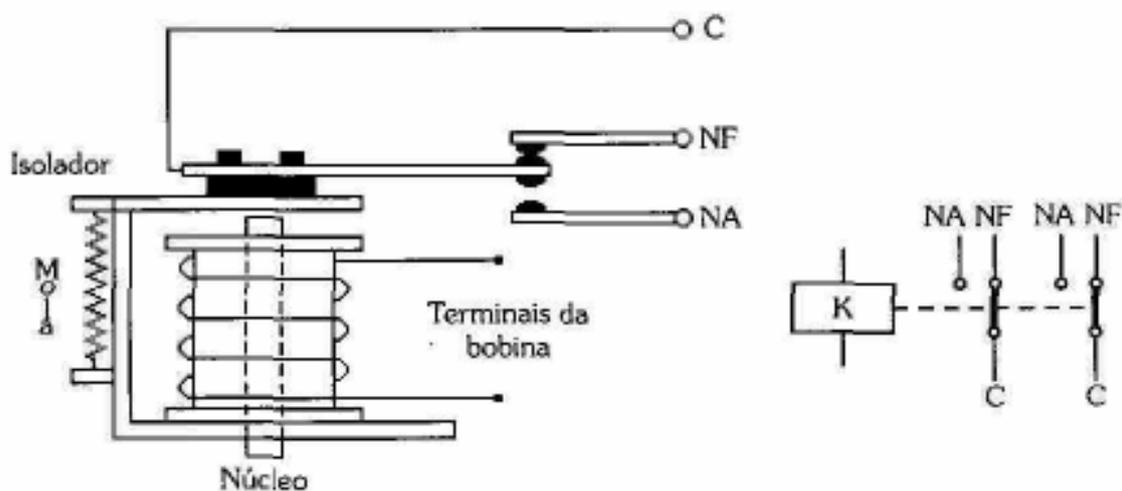


Figura 5.5 - O Relé e sua Representação.

Aplicando-se uma tensão elétrica nos terminais da bobina do relé, surge na mesma uma corrente gerando um campo magnético. A força magnética, por sua vez, atrai a parte móvel do relé, distendendo a mola. Esta manobra faz com que o terminal C, que anteriormente estava em contato com o terminal NF, passe a se fixar com o contato NA. Enquanto a bobina permanecer energizada, os contatos se mantêm nesta posição.

Ao ser desenergizado, o solenóide cessa a força eletromagnética de atração, resultando no retorno da parte móvel do relé à posição inicial pelo efeito de contração da mola. Ressaltamos que um relé, construtivamente, pode ser formado por vários conjuntos de contatos. Na figura 5.5, o relé possui dois conjuntos de contatos.

Uma das grandes vantagens dos relés é a isolação galvânica entre os terminais da bobina e os contatos NA e NF, além da isolação entre os conjuntos de contato. A figura 5.6 mostra uma outra vantagem dos relés, que é a possibilidade de acionar cargas com tensão diferentes através de um único relé.

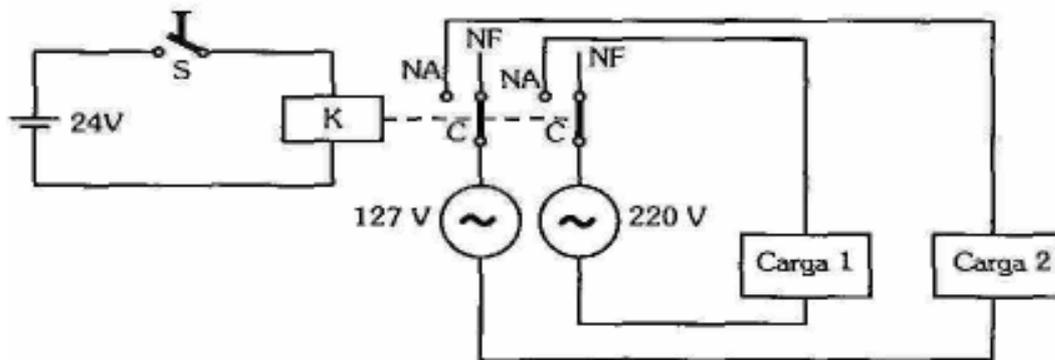


Figura 5.6 - Acionamento Isolado com Relé.

Ao acionar a chave S, automaticamente energizam-se as cargas 1 e 2 com as tensões de 220 V e 127 V respectivamente.

Uma outra propriedade muito explorada dos relés é o efeito memória, ou seja, a retenção de sinais elétricos de comando. A figura 5.7 mostra o circuito de auto-retenção que utiliza este princípio.

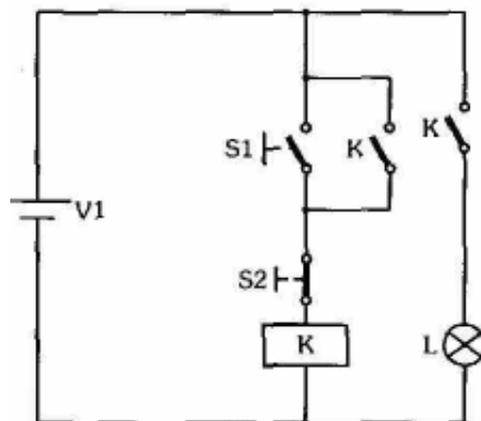


Figura 5.7 - Circuito de Auto-Retenção.

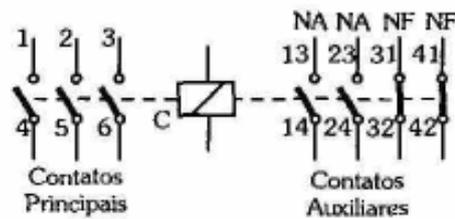
Ao acionar a chave S1, a bobina relé K é energizada, fechando os dois contatos K, acendendo, com isso, a lâmpada L. Retirando-se a força de acionamento da chave S1, ela abre, mas a lâmpada continua acesa devido a retenção do sinal (efeito memória). A lâmpada permanece acesa até o

acionamento da chave S2. Quando isto acontece, a bobina do relé K é desenergizada, abrindo, com isso, os contatos K, desligando a lâmpada. A lâmpada permanece apagada até um novo acionamento da chave S1.

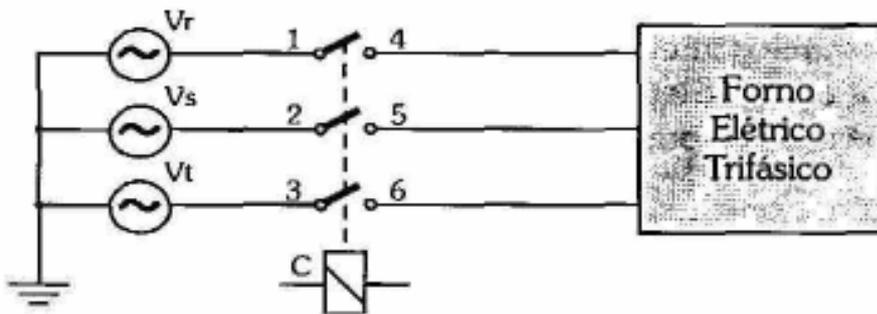
Contator

Assim como relé, o contator é uma chave de comutação eletromagnética. Ele é empregado, geralmente, para acionar máquinas e equipamentos elétricos de grande potência, enquanto o relé é usado em cargas de pequena potência.

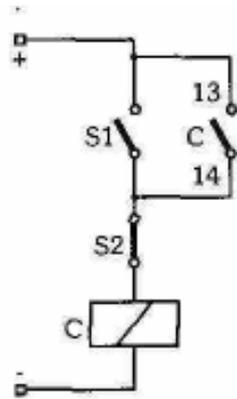
O contator, além de possuir os contatos principais, apresenta também contatos auxiliares NA e NF de pequena capacidade de corrente. Estes contatos são utilizados para realizar o próprio comando do contator (auto-retenção), sinalização e acionamento de outros dispositivos elétricos. A figura 5.8 mostra o símbolo elétrico de um contator e uma das suas aplicações.



(a) Representação



(b) Circuito de Potência



(c) Circuito de Comando

Figura 5.8 - O Contator.

Ao acionar a chave S1, a bobina do contator C é energizada, fechando os contatos principais e o contato C de auto-retenção, ligando o forno elétrico trifásico. Para desligar este forno basta acionar a chave "S2".

Para a escolha de relés e contadores, devemos levar em consideração as especificações do número de contatos, tensão nominal da bobina e corrente máxima nos contatos.

|5.2 - Dispositivos de Proteção

São elementos intercalados no circuito com o objetivo de interromper a passagem de corrente elétrica sob condições anormais, como curto-circuitos ou sobrecargas. Os dispositivos de proteção mais comuns são:

Fusível

O princípio de funcionamento do fusível baseia-se na fusão do filamento e consequente abertura do filamento quando por este passa uma corrente elétrica superior ao valor de sua especificação. A figura 5.9 apresenta um fusível tipo cartucho e seu símbolo elétrico.



Figura 5.9 - Fusível Cartucho.

Os fusíveis geralmente são dimensionados 20% acima da corrente nominal do circuito. Diante disso, nunca devemos substituí-lo por outro de maior corrente.

Os fusíveis são classificados em retardados e rápidos. O fusível de ação retardada é usado em circuitos nos quais a corrente de partida é muitas vezes superior à corrente nominal. É o caso dos motores elétricos e cargas capacitivas.

Já o fusível de ação rápida é utilizado em cargas resistivas e na proteção de componentes semicondutores, como o diodo e o tiristor em conversores estáticos de potência.

Disjuntor Termomagnético

O disjuntor termomagnético possui a função de elemento de proteção e, eventualmente, de chave. Interrompe a passagem de corrente elétrica ao ocorrer uma sobrecarga ou curto-circuito.

Sobrecarga é uma corrente ligeiramente superior à corrente nominal e que a longo prazo (horas) pode danificar seriamente o cabo condutor ou o equipamento. Esta proteção baseia-se no princípio da dilatação de duas lâminas de metais distintos, portanto, com coeficientes de dilatação diferentes. Uma pequena sobrecarga faz o sistema de lâminas deformar-se (efeito térmico) sob o calor, desligando o circuito, conforme se observa na figura 5.10.

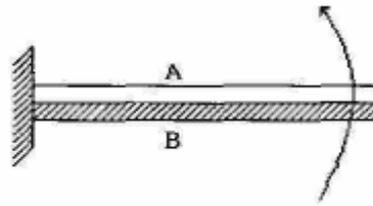


Figura 5.10 - Princípio de Proteção para Sobrecarga.

Curto-circuito é uma corrente excessivamente alta proveniente de alguma avaria no sistema elétrico ao qual está conectado (aproximadamente dez vezes a nominal), e que precisa ser imediatamente interrompido, sob pena de danificar todo o circuito elétrico. A proteção contra curto-circuito é feita através da ação de um dispositivo magnético, que desliga o circuito quase instantaneamente.

Os disjuntores são dimensionados da mesma forma que os fusíveis e construtivamente estes dispositivos podem ser monopolares, bipolares e tripolares.

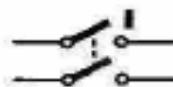
As vantagens do disjuntor termomagnético são:

- É religável, após cessar o problema que ocasionou o seu desarme;
- Não se funde e não precisa ser substituído após ter sido ativado;
- Protege a instalação com rapidez e segurança;
- Pode, eventualmente, ser usado como chave.

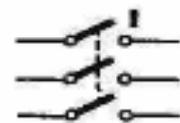
A simbologia do disjuntor termomagnético é mostrada na figura 5.11.



Disjuntor Monopolar



Disjuntor Bipolar



Disjuntor Trípolar

Figura 5.11 - Símbolos Elétricos do Disjuntor

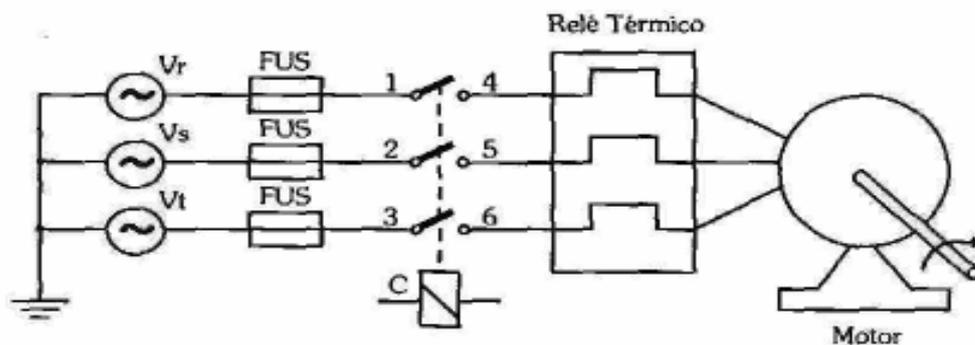
Relé de Sobrecarga ou Térmico

O princípio de funcionamento do relé de sobrecarga baseia-se na dilatação linear de duas lâminas metálicas com coeficientes de dilatação térmica diferentes, acopladas rigidamente (bimetal). Quando ocorre uma sobrecarga ou falta de fase, esta se reflete num aumento de corrente, provocando um aquecimento maior e, conseqüentemente, um acréscimo na dilatação do bimetal. Essa deformação aciona a abertura do contato auxiliar que interrompe a passagem da corrente para a bobina do contator, desacionando, com isso, a carga. Para ligar novamente a carga devemos acionar manualmente o botão de rearme do relé térmico.

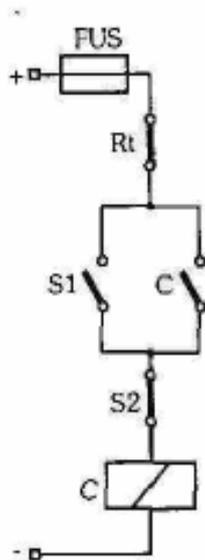
O relé térmico possui as seguintes partes principais:

- Um contato auxiliar (NA + NF) de comando da bobina do contator;
- Um botão de regulagem da corrente de desarme;
- Um botão de rearme de ação manual;
- Três bimetais.

A figura 5.12 apresenta uma aplicação do relé térmico na proteção de motores elétricos trifásicos.



(a) Circuito de Potência



(b) Circuito de Comando

Figura 5.12 - Sistema de Proteção para Motores Trifásicos.

Neste sistema, os fusíveis protegem o circuito de potência contra curto-circuito e o relê térmico protege o motor contra sobrecarga e falta de fase. Quando o relê térmico atua, o contato NF abre, desenergizando o solenóide do contator que, por sua vez, desaciona o motor elétrico.

5.3 - Dispositivos de Regulação

São elementos elétricos destinados a regular o valor de variáveis de um processo automatizado, tais como: velocidade, tempo, temperatura, pressão, vazão etc. Os tipos mais comuns são:

Reostato

É um componente de resistência variável que serve para regular correntes de alta intensidade em circuitos elétricos. A figura 5.13 mostra a sua simbologia e algumas formas de reostato.

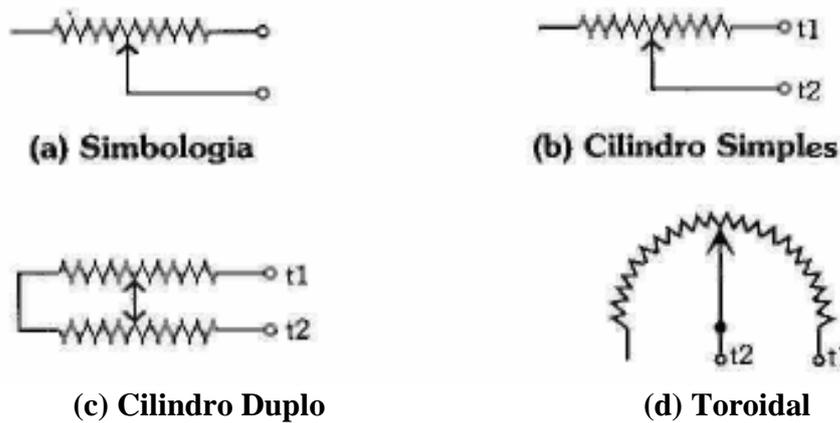


Figura 5.13 - Representação e Formas do Reostato.

Potenciômetro

O potenciômetro apresenta a mesma função que o reostato, porém é fisicamente menor e regula correntes de baixa intensidade nos circuitos elétricos e eletrônicos. Apresenta três terminais acessíveis, podendo ser construído com fio, carvão ou líquido.

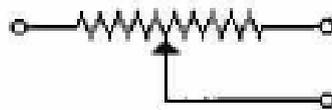
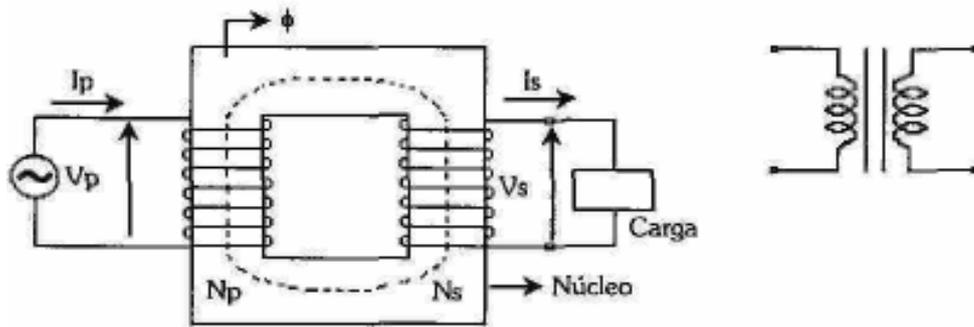


Figura 5.13 - Símbolo Elétrico do Potenciômetro.

Transformador

O transformador é um componente que permite adaptar o valor de uma tensão alternada, aumentando-a ou diminuindo-a, conforme a conveniência. O transformador básico é formado por duas bobinas isoladas eletricamente, enroladas em torno de um núcleo de ferro silício.

A transferência de energia elétrica de uma bobina para outra é realizada por intermédio do fluxo magnético. A bobina que recebe a energia a ser transferida chama-se primário, e a bobina que fornece a energia à carga, chama-se secundário. A figura 5.14 apresenta o elemento transformador e a sua representação.



Onde:

Φ : Fluxo magnético

V_p : Tensão primária

V_s : Tensão secundária

I_p : Corrente primária

I_s : Corrente secundária

N_p : Número de espiras primária

N_s : Número de espiras secundária

Figura 5.14 - Transformador e seu Símbolo Elétrico.

A tensão elétrica nas bobinas de um transformador é diretamente proporcional ao número de espiras das bobinas. Esta relação é expressa através da seguinte fórmula:

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Onde a é a relação de tensão ou relação de espiras. Se a for maior que 1, o transformador é **abaixador** e se a for menor que 1, o transformador é **elevador**.

No transformador ideal, a potência elétrica no primário é igual à potência elétrica no secundário, isto é:

$$P_p = P_s \Rightarrow V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

Portanto, as seguintes relações são válidas:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{a}$$

Na prática, essas expressões não são exatamente iguais devido às perdas no cobre (resistência ôhmica das bobinas) e as perdas no ferro (correntes parasitas no núcleo).

Para a escolha do transformador devemos levar em consideração as especificações de tensão primária, tensão secundária e potência requerida.

Relé de Tempo com Retardo na Ligação

O relé de tempo com retardo na ligação comuta seus contatos após um determinado tempo, regulável em escala própria. O início da temporização acontece quando energizamos os terminais de alimentação do relé de tempo. A figura 5.15 mostra o comportamento do relé de tempo com retardo na ligação.

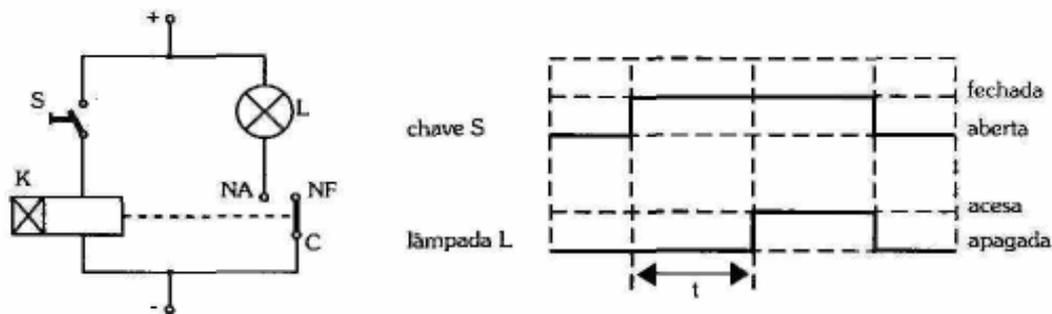


Figura 5.15 - Relé de Tempo com Retardo na Ligação.

Ao ligar a chave S, é iniciada a contagem de tempo conforme foi ajustado. Uma vez atingido o tempo final, os contatos comutarão acendendo a lâmpada. Ao desligar a chave S, a lâmpada apaga.

Relé de Tempo com Retardo no Desligamento

O relé de tempo com retardo no desligamento mantém os contatos comutados por um determinado tempo, regulável em escala própria, após a desenergização dos terminais de alimentação. A figura 5.16 apresenta o comportamento do relé de tempo com retardo no desligamento.

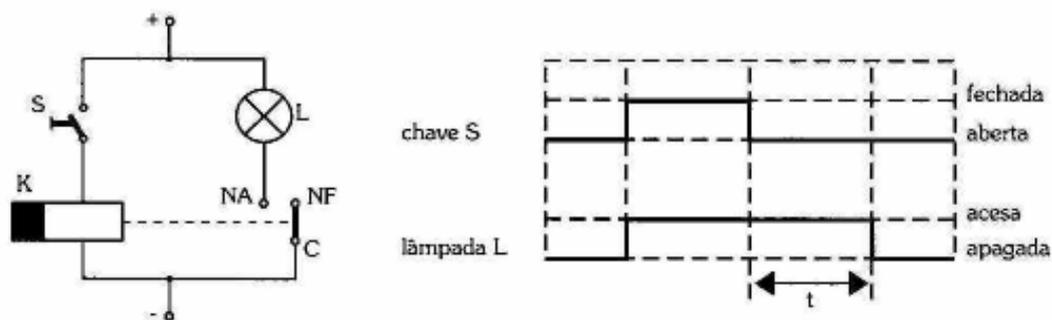


Figura 5.16 - Relé de Tempo com Retardo no Desligamento.

Ao ligar a chave S, o relé é ativado, comutando os contatos e acendendo a lâmpada. Ao desligar a chave S, a lâmpada permanece acesa durante um tempo preestabelecido.

Contador de Impulsos Elétricos

O contador de impulsos elétricos realiza a contagem progressiva, mediante a ação de impulsos elétricos, na bobina contadora. Estes impulsos são provenientes de relés, contadores, chaves, sensores elétricos etc.

A programação é realizada pelo usuário através de chaves do tipo impulso localizadas no painel deste dispositivo. O acionamento dos contatos do contador ocorre quando o número de impulsos elétricos na bobina contadora for igual ao valor programado pelo usuário.

O reset significa zerar a contagem dos impulsos elétricos, e pode ser acionado manualmente via uma chave sem retenção ou por um impulso elétrico na bobina de reset do contador. A figura 5.17 apresenta o comportamento de um contador programado para acionar uma lâmpada após quatro impulsos elétricos da chave S. Depois de um tempo o Reset é acionado, zerando o contador e apagando a lâmpada.

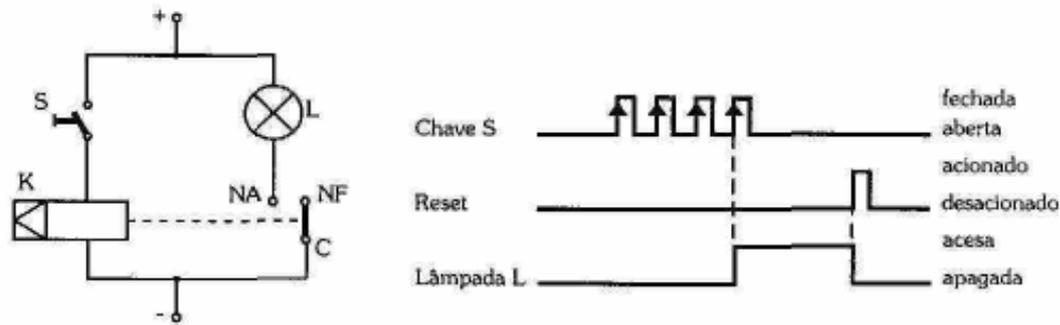


Figura 5.17 - Contador de Impulsos Elétricos.

5.4 - Dispositivos de Sinalização

São componentes elétricos utilizados para indicar o estado em que se encontra um processo automatizado. As informações mais comuns fornecidas pelos dispositivos de sinalização são: ligado, desligado, falha e emergência.

Devemos ainda sinalizar o estado de cada elemento de trabalho e de cada sensor elétrico do processo com a finalidade de facilitar a localização de defeito numa eventual manutenção.

Indicador Visual

Os indicadores visuais fornecem sinais luminosos indicativos de estado, emergência, falha etc. São os indicadores mais utilizados, devido à simplicidade, eficiência na indicação e baixo custo.

Esses sinais são fornecidos por lâmpadas ou LED's (Diodos Emissores de Luz), principalmente em ambientes onde o silêncio é necessário. A seguinte tabela apresenta as cores de sinalização recomendadas para cada situação de um processo automatizado e a figura 5.18 nos mostra a simbologia elétrica de um indicador luminoso.



Estado	Cor
Ligado	Vermelho
Desligado	Verde
Falha	Amarelo

Figura 5.18 - Símbolo Elétrico e Cores usadas num Indicador Luminoso.

Indicador Acústico

O indicador acústico fornece sinais audíveis, indicativos de estado, falha, emergência etc. São as sirenes e as buzinas elétricas. Este tipo de sinalizador é utilizado em ambientes de difícil visualização dos indicadores luminosos ou quando se deseja atingir um grande número de pessoas em diferentes locais. A figura 5.19 nos mostra o símbolo de um indicador acústico.

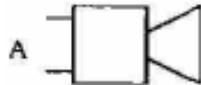


Figura 5.19 - Símbolo de um Indicador Acústico.

Nos ambientes onde não existe restrição ou dificuldades na utilização dos sinalizadores, podemos usar em conjunto os indicadores luminosos e acústicos.

Para a escolha dos dispositivos de sinalização, devemos levar em consideração as especificações da tensão nominal de alimentação.

Exercícios Propostos

5.1- Assinale a opção verdadeira:

- a) Chaves são dispositivos de comando que impedem a passagem da corrente elétrica.
 - b) A chave impulso é aquela que permanece acionada enquanto houver uma força aplicada sobre ela.
 - c) O que define a escolha de uma chave é a máxima força de pressão aplicada nos contatos.
- a e b estão corretas.
- somente a letra b está correta.
- a e c estão corretas.
- a, b e c são falsas.

5.2- Associe as colunas:

- | | |
|------------------------------|---|
| (a) Relé | <input type="checkbox"/> São chaves de comutação eletromagnética usadas para acionar equipamentos elétricos de grande potência. |
| (b) Contatores | <input type="checkbox"/> Protege contra sobrecarga e curto-circuito. |
| (c) Fusível | <input type="checkbox"/> São chaves de impulso acionadas por um campo magnético. |
| (d) Disjuntor termomagnético | <input type="checkbox"/> É o dispositivo de proteção que se funde à passagem de uma corrente superior à corrente de trabalho. |
| (e) Relé de sobrecarga | <input type="checkbox"/> Protege contra sobrecarga usando o princípio da dilatação linear de duas lâminas bimetálicas. |

5.3- Explique por que os relés têm a propriedade de acionar carga isoladamente.

5.4- O que é o "efeito memória" dos relés?

5.5- Explique o funcionamento do acionamento do forno elétrico trifásico mostrado na figura 5.8.

5.6- Explique como o disjuntor termomagnético protege contra a sobrecarga.

5.7- Complete com V ou F:

- a) Dispositivos de regulação são elementos elétricos que regulam a velocidade, vazão, tempo etc, de sistemas automatizados.
- b) O reostato e o potenciômetro têm a mesma função.
- c) Transformadores transformam a energia elétrica de corrente contínua em energia elétrica de corrente alternada.
- d) O relê de tempo com retardo na ligação aciona uma carga (uma lâmpada, por exemplo) e após um certo tempo, desliga automaticamente a carga.

Sensores Elétricos

6

6.1 - Sensor de Contato com Acionamento Mecânico

6.2 - Sensor de Contato com Acionamento Magnético

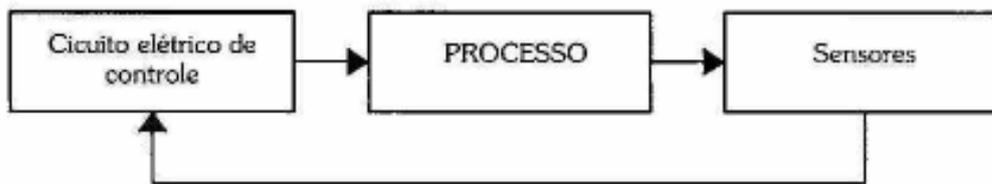
6.3 - Sensor de Proximidade

6.4 - Sensor Fotoelétrico

6.5 - Outros Sensores

Exercícios Propostos

São componentes que captam as informações necessárias no decorrer do processo automatizado e enviam ao circuito elétrico de controle.

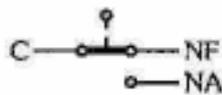


6.1- Sensor de Contato com Acionamento Mecânico

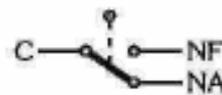
É uma chave elétrica acionada mecanicamente pelo movimento dos elementos de trabalho, através do dispositivo atuador localizado no sensor. O elemento atuador pode ser: curto, convencional, longo, com rolete, com falso rolete e, ainda, com rolete escamoteável.

O acionamento através de rolete escamoteável ocorre somente em um sentido do movimento, enquanto nos outros tipos de atuadores, o acionamento ocorre nos dois sentidos.

O sensor de contato mecânico apresenta três terminais acessíveis: o comum (C), o normalmente aberto (NA) e o normalmente fechado (NF), conforme mostra a figura 6.1.



(a) Sensor Desacionado



(b) Sensor Acionado

Figura 6.1 - Sensor de Contato com Acionamento Mecânico.

Quando o número de comutações do sensor é muito grande, não é aconselhável o seu uso, devido ao desgaste mecânico de seus contatos elétricos.

6.2 - Sensor de Contato com Acionamento Magnético

É uma chave elétrica acionada pelo campo magnético de um ímã. Este tipo de sensor é utilizado quando se necessita um grande número de comutações, quando as condições ambientais são adversas (poeira, umidade etc.) e quando não há espaço suficiente para montagens de sensores com acionamento mecânico.

Nos cilindros com êmbolo magnético, o sensor é fixado sobre o corpo do mesmo, deixando sua haste completamente livre.

Este tipo de sensor apresenta dois terminais acessíveis, podendo ser, construtivamente, normalmente aberto ou normalmente fechado, conforme mostra a figura 6.2.

Chave Impulso	Desacionado	Acionado
NA		

Figura 6.2 - Sensores de Contato com Acionamento Magnético.

6.3 Sensor de Proximidade

É um circuito eletrônico capaz de detectar a aproximação de peças, fluidos, componentes, elementos de máquinas etc.

O acionamento ocorre sem que haja o contato físico entre o acionador e o sensor, aumentando com isso a vida útil do sensor.

O estágio de saída deste tipo de sensor é um transistor PNP ou NPN, podendo-se ter, ainda, as seguintes configurações elétricas: função NA (3 terminais), função NF (3 terminais) e saída complementar (com 4 terminais acessíveis), conforme mostra a figura 6.3.

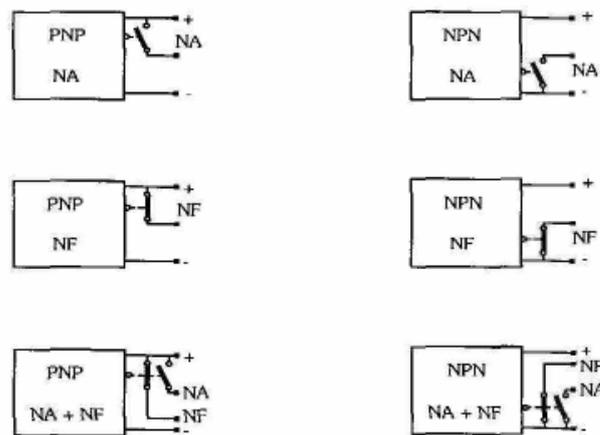


Figura 6.3 - Configurações Elétricas dos Sensores de Proximidade.

Na saída com transistor PNP, a carga a ser acionada pelo sensor deve ser conectada entre o terminal negativo e o terminal NA ou NF. Já, na saída com transistor NPN, a carga deve ser conectada entre o terminal positivo e o terminal NA ou NF, conforme a lógica de controle utilizada.

O sensor de proximidade pode ser indutivo ou capacitivo.

Sensor de Proximidade Indutivo

Este sensor detecta a aproximação de metais. O seu princípio de funcionamento baseia-se na detecção da variação do campo magnético de alta frequência devido à aproximação de um objeto metálico, conforme mostra a figura 6.4.

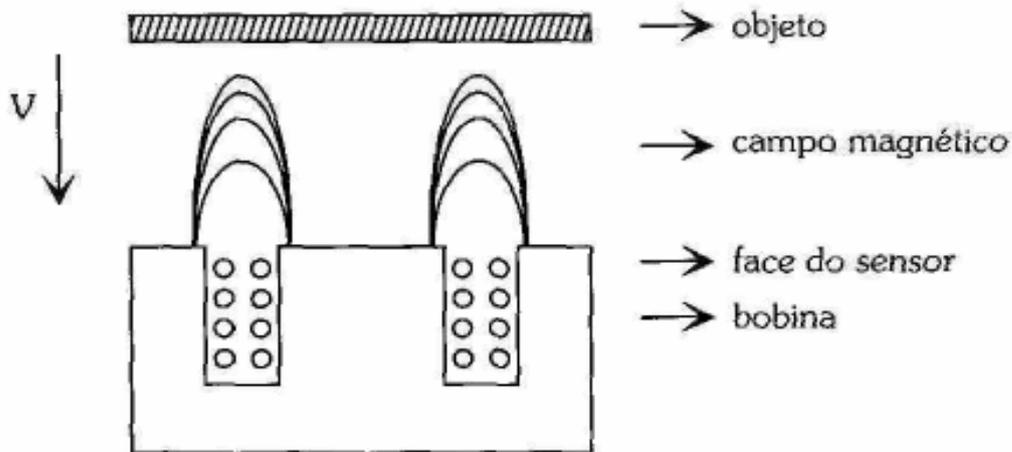


Figura 6.4 - Princípio de Funcionamento do Sensor Indutivo.

Sensor de Proximidade Capacitivo

Este sensor detecta a aproximação de materiais orgânicos, plásticos, pós, líquidos, madeiras, papéis, metais etc. O seu princípio de funcionamento baseia-se na detecção da variação do campo elétrico de alta frequência devido à aproximação do objeto, conforme mostra a figura 6.5.

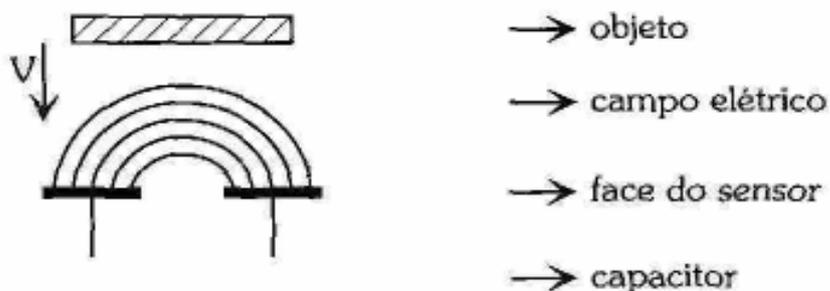


Figura 6.5 - Princípio de Funcionamento do Sensor Capacitivo.

6.4 - Sensor Fotoelétrico

O sensor fotoelétrico é conhecido também por sensor óptico, e baseia-se na transmissão e recepção de luz infravermelha, podendo ser refletida ou interrompida pelo objeto a ser detectado. Este tipo de sensor é composto por dois circuitos básicos: um transmissor (LED - diodo emissor de luz), responsável pela emissão do feixe de luz, e o receptor (fototransistor ou fotodiodo), responsável pela recepção do feixe de luz .

Sistema de Barreira

Os circuitos transmissor e receptor são encapsulados em unidades distintas e devem ser colocados um em frente ao outro, de modo que o receptor possa receber a luz do transmissor. O sensor é acionado quando o objeto a ser detectado interrompe o feixe de luz, conforme mostra a figura 6.6.

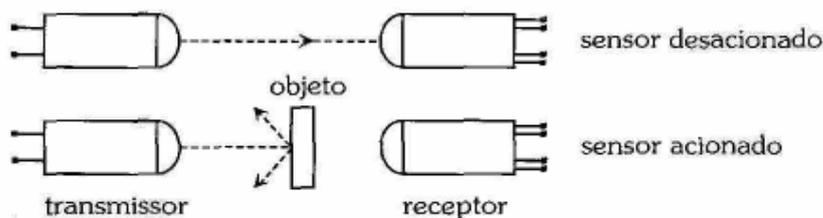


Figura 6.6 - Sistema de Barreira.

Na figura 6.7, apresentamos as configurações elétricas PNP e NPN do estágio de saída do sensor fotoelétrico com sistema de barreira.

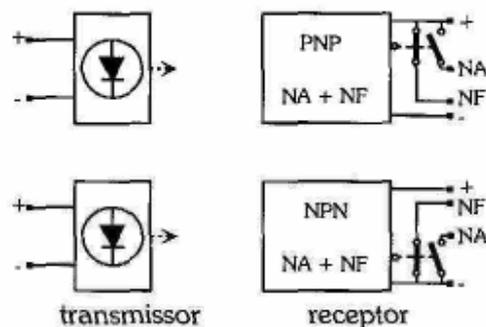


Figura 6.7 - Configurações Elétricas do Sistema de Barreira.

Sistema de Difusão

Os circuitos transmissor e receptor são encapsulados em uma única unidade. O acionamento deste sensor ocorre quando o objeto a ser detectado interrompe e reflete o feixe de luz emitido pelo transmissor, conforme mostra a figura 6.8.

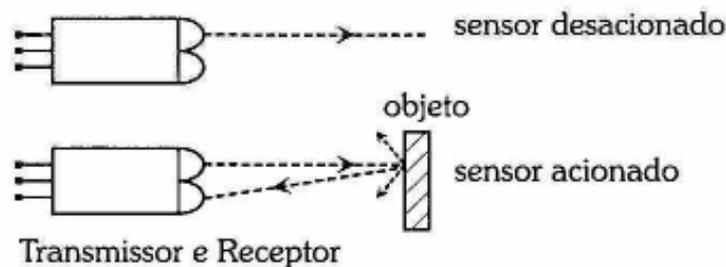


Figura 6.8 - Sistema de Difusão.

As configurações elétricas do estágio de saída do sensor fotoelétrico com sistema de difusão são idênticas às do sensor de proximidade, como foi visto na figura 6.3.

6.5 - Outros Sensores

Existem outras grandezas físicas importantes em alguns sistemas eletropneumáticos automatizados que devem ser aqui consideradas. São elas: pressão, temperatura, massa etc.

Sensor de Pressão ou Pressostato

O pressostato é um dispositivo eletromecânico acionado pela pressão do ar ou de outros fluidos, tais como: óleo, água, vapor e gás.

A atuação ocorre quando a pressão P do fluido é maior que a pressão regulada P_r na mola de contrapressão. Esta regulação da mola é realizada através de um parafuso existente no sensor. Quando $P > P_r$, a chave elétrica do pressostato é acionada, conforme mostra a figura 6.9.

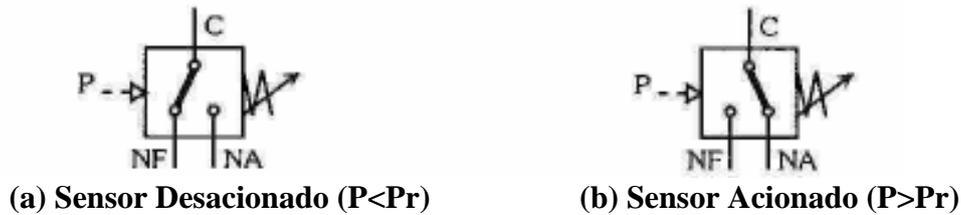


Figura 6.9 - O Pressostato.

Sensor de Temperatura ou Termostato

O termostato é um elemento acionado pela ação da temperatura. A atuação acontece quando a temperatura T de um determinado ambiente é maior que a temperatura regulada Tr . Esta regulação de temperatura é executada por meio de um potenciômetro graduado incorporado ao termostato. Quando $T > Tr$, a chave elétrica deste dispositivo é acionada, conforme mostra a figura 6.10.

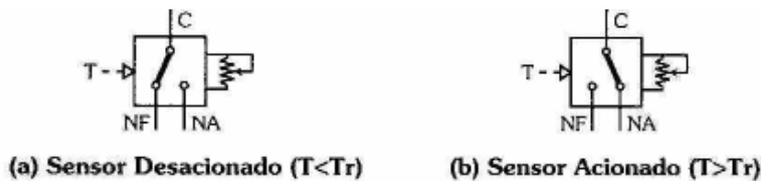


Figura 6.10 - O Termostato Regulável.

Quando a temperatura a ser controlada é fixa e sem muita precisão, a solução é utilizar um sensor acionado pela dilatação térmica de uma lâmina bimetálica. A figura 6.11 apresenta este dispositivo.

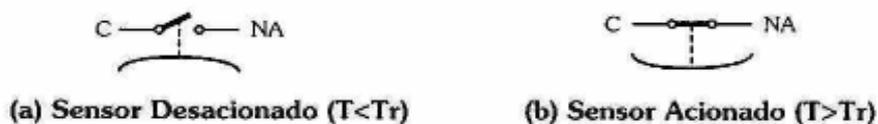


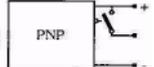
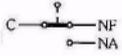
Figura 6.11 - Termostato de Lâmina Bimetálica.

Para a escolha dos sensores elétricos, devemos levar em consideração, entre outras, as seguintes especificações:

- Tipo e tensão de alimentação;
 - Corrente máxima;
 - Número de acionamentos (comutações);
 - Sensibilidade;
 - Tipo de fixação;
- Custo.

Exercícios Propostos

6.1- Identifique a figura com a coluna da direita.

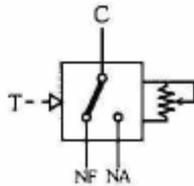
- | | | |
|----|---|---|
| a) |  | <input type="checkbox"/> Sensor de contato com acionamento magnético, NA desacionado. |
| b) |  | <input type="checkbox"/> Sensor de contato mecânico desacionado. |
| c) |  | <input type="checkbox"/> Sensor de proximidade, lógica PNP, função NA |
| d) |  | <input type="checkbox"/> Sensor de contato mecânico acionado |

6.2- Relacione a 1ª coluna com a 2ª coluna.

- | | |
|---|---|
| (a) São circuitos capazes de detectar a | () Sensor de proximidade aproximação de metais. |
| (b) São circuitos capazes de detectar a | () Sensor indutivo aproximação de peças e fluidos. |
| (c) Funciona pela variação de um | () Sensor capacitivo campo magnético. |
| (d) Funciona pela variação de um | () Sensor fotoelétrico campo elétrico. |

6.3- Os sensores que baseiam sua ação na reflexão da luz são chamados de?

6.4- Explique o funcionamento do sensor abaixo.



6.5- Explique o funcionamento do termostato regulável.

6.6- Dos seguintes sensores, qual deles é usado para se detectar a passagem do ar numa tubulação?

- a) () Fotoelétrico
- b) () Termostato
- c) () Pressão
- d) () Proximidade capacitivo
- e) () Acionamento mecânico

Circuitos Elétricos Básicos

7

7.1 - Circuitos Elétricos Lógicos

7.2 - Acionamento de Atuadores Pneumáticos

7.3 - Acionamento de Máquinas Elétricas

Exercícios Propostos

Neste capítulo, serão abordados os circuitos elétricos básicos para o acionamento individual dos elementos de trabalho. No próximo capítulo, trataremos dos circuitos elétricos para aplicações mais complexas.

A alimentação dos circuitos de comando é feita através de fontes de tensão contínua. Os circuitos de comando também podem ser energizados pela tensão alternada, desde que os elementos elétricos que os compõem sejam especificados para este tipo de alimentação.

Aqui, abordaremos somente o primeiro caso.

7.1 - Circuitos Elétricos Lógicos

A álgebra de Boole é um sistema binário criado por George Boole, em 1854, para investigar as leis da lógica, que mais tarde seriam usadas como base para o estudo da lógica matemática e para as operações internas dos computadores.

Este sistema opera com variáveis que só assumem **dois estados lógicos e opostos**, representados pelos dígitos binários **0** e **1**.

O dígito binário **1** pode representar os seguintes estados lógicos: sim, avançado, acionado, ativado, ligado, aceso etc. O dígito binário **0** pode representar os estados lógicos: não, recuado, desacionado, desativado, desligado, apagado etc.

As **funções lógicas binárias** mostram a relação entre as variáveis independentes de entrada e a variável dependente de saída. A **tabela-verdade**, entretanto, é um mapa onde colocam-se as opções possíveis das variáveis de entrada e seus resultados, isto é, os valores da variável de saída.

Apresentam-se a seguir, as principais funções lógicas juntamente com seus correspondentes circuitos elétricos. Utiliza-se o estado de uma lâmpada, representada pela letra L, como variável de saída e o estado das chaves, representadas pela letra S, como variáveis de entrada.

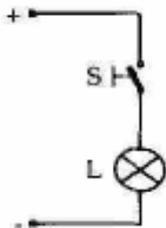
Nos circuitos elétricos destinados ao controle de processos automatizados, há outras variáveis de entrada além das chaves, tais como: sensores, contatos de relês, contatos auxiliares de contatores, de interruptores de partida, de parada e de emergência.

Além da lâmpada como variável de saída, temos: os solenóides das válvulas eletropneumáticas, os solenóides dos relês, dos contatores e dos contadores de impulsos elétricos.

Função Lógica Sim – Identidade

Na função lógica identidade, a lâmpada acenderá ($L=1$) se a chave estiver acionada ($S=1$).

Circuito Elétrico



Função Lógica

$$L = S$$

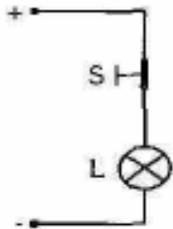
Tabela-Verdade

S	L = S
0	0
1	1

Função Lógica Não – Inversa

Na função lógica inversa, a lâmpada acenderá ($L=1$) se a chave não estiver acionada ($S=0$), ou seja, a saída será o inverso da entrada.

Circuito Elétrico



Função Lógica

$$L = \bar{S}$$

Tabela-Verdade

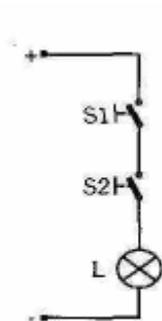
S	$L = \bar{S}$
0	1
1	0

A entrada S significa o oposto de S e, eletricamente, é realizada através de uma chave normalmente fechada.

Função Lógica E - Associação Série

Na função lógica E, a lâmpada acenderá ($L=1$) se, e somente se, as chaves S1 e S2 estiverem acionadas.

Circuito Elétrico



Função Lógica

$$L = S1.S2$$

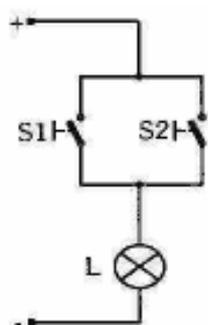
Tabela-Verdade

S1	S2	$L = S1.S2$
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Função Lógica OU - Associação Paralela

Na função lógica OU, a lâmpada acenderá ($L=1$) se a chave S1, ou a chave S2, ou ambas estiverem acionadas.

Circuito Elétrico



Função Lógica

$$L = S1 + S2$$

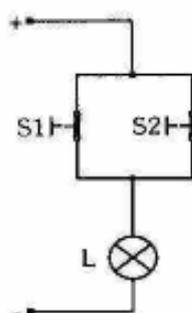
Tabela-Verdade

S1	S2	$L = S1 + S2$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Função Lógica Não E

Na função lógica Não E, a lâmpada acenderá ($L=1$) se a chave S1, ou a chave S2, ou ambas estiverem desacionadas.

Circuito Elétrico



Função Lógica

$$L = \overline{S1.S2}$$

ou

$$L = \overline{S1} + \overline{S2}$$

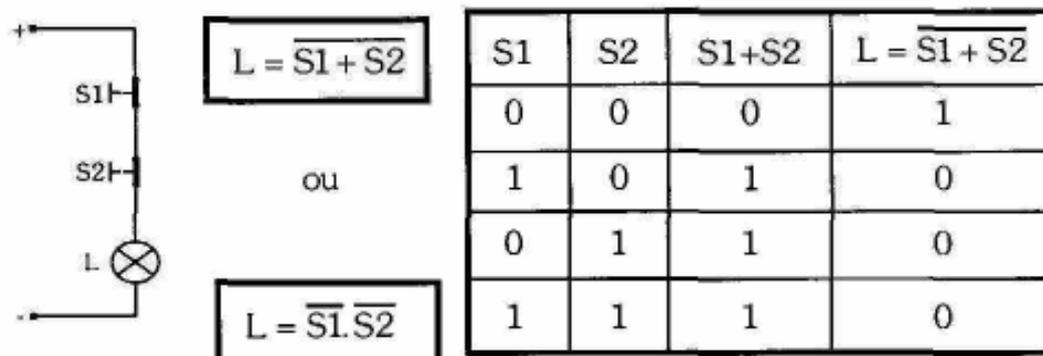
Tabela-Verdade

S1	S2	$S1.S2$	$L = \overline{S1.S2}$
0	0	0	1
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	1	0

Função Lógica Não OU

Na função lógica Não OU, a lâmpada acenderá ($L=1$) se, e somente se, as chaves S1 e S2 estiverem desacionadas.

Circuito Elétrico **Função Lógica** **Tabela-Verdade**



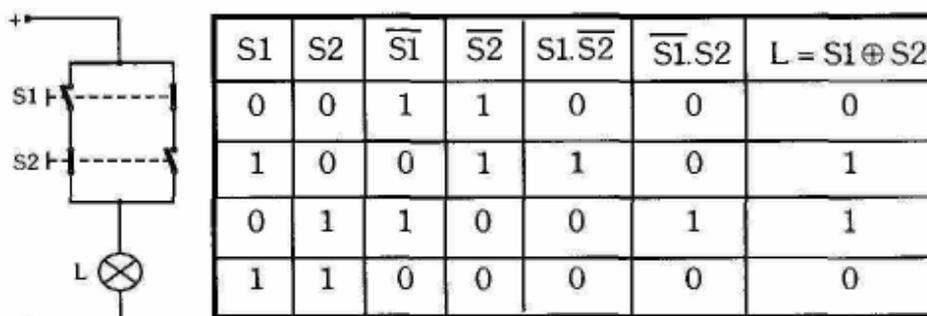
Função Lógica OU Exclusivo

Na função lógica OU exclusivo, a lâmpada acenderá ($L=1$) quando a chave S1 estiver acionada e a chave S2 não estiver acionada, ou vice-versa.

A função lógica é:

$$L = (S1 \cdot \overline{S2}) + (\overline{S1} \cdot S2) = S1 \oplus S2$$

Circuito Elétrico **Tabela-Verdade**



Função Lógica Equivalência

Na função lógica equivalência, a lâmpada acenderá ($L=1$) quando as chaves $S1$ e $S2$ estiverem acionadas ou desacionadas simultaneamente.

A função lógica é:

$$L = (S1.S2) + (\overline{S1}.\overline{S2}) = \overline{S1 \oplus S2}$$

Circuito Elétrico

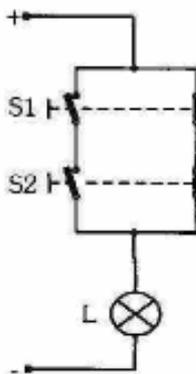


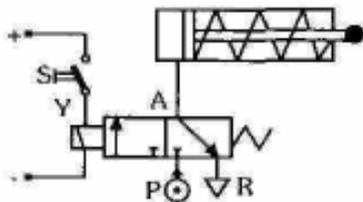
Tabela-Verdade

S1	S2	$\overline{S1}$	$\overline{S2}$	$S1.S2$	$\overline{S1}.\overline{S2}$	$L = \overline{S1 \oplus S2}$
0	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	1

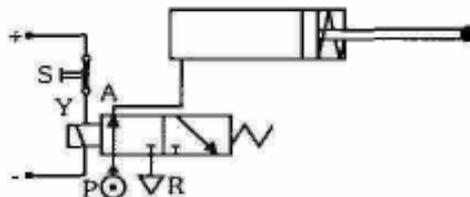
7.2 - Acionamento de Atuadores Pneumáticos

Comando através de Válvulas Eletropneumáticas Direcionais com Acionamento Unidirecional

A figura 7.1 apresenta um cilindro de simples ação conectado a uma válvula eletropneumática 3/2 com seu respectivo circuito elétrico de comando.



(a) Cilindro Recuado



(b) Cilindro Avançado

Figura 7.1 - Comando Unidirecional para Cilindro de Simples Ação.

Inicialmente, a chave S com retenção encontra-se aberta, com a válvula no estado de repouso e o cilindro recuado, conforme mostra a figura 7.1 (a).

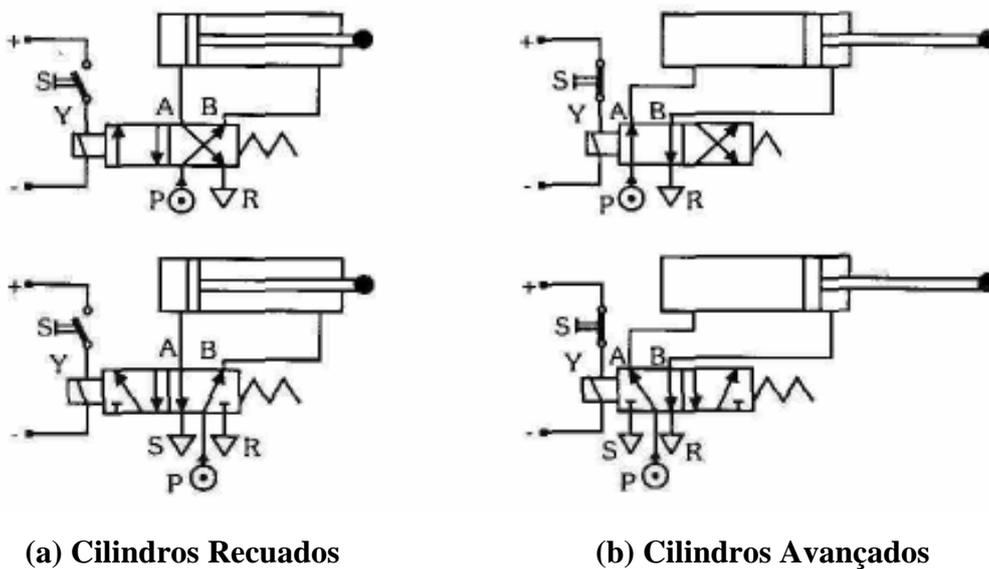
Nesta situação, o ar pressurizado encontra-se bloqueado e a entrada do cilindro está conectada ao escape R.

Acionando-se a chave S, a válvula troca de estado mediante a ação da corrente elétrica no solenóide. O ar pressurizado é enviado para o cilindro, forçando o avanço do mesmo, e o escape R é bloqueado, conforme mostra a figura 7.1 (b).

Desacionando-se a chave S, a válvula retorna à posição de repouso mediante a ação da mola, conectando a entrada do cilindro ao escape R. Com isso a mola do cilindro fica livre para forçar o retorno da sua haste, voltando à posição mostrada pela figura 7.1 (a).

A figura 7.2 mostra o circuito elétrico de comando dos cilindros de dupla ação que estão conectados, respectivamente, às válvulas eletropneumáticas 4/2 e 5/2. As duas válvulas executam a mesma função, apenas com diferenças construtivas.

Apresentamos o comando de um cilindro de dupla ação que representa qualquer outro atuador pneumático com dois orifícios acessíveis, tais como: os motores pneumáticos, cilindros rotativos, cilindros de aleta giratória etc.



(a) Cilindros Recuados

(b) Cilindros Avançados

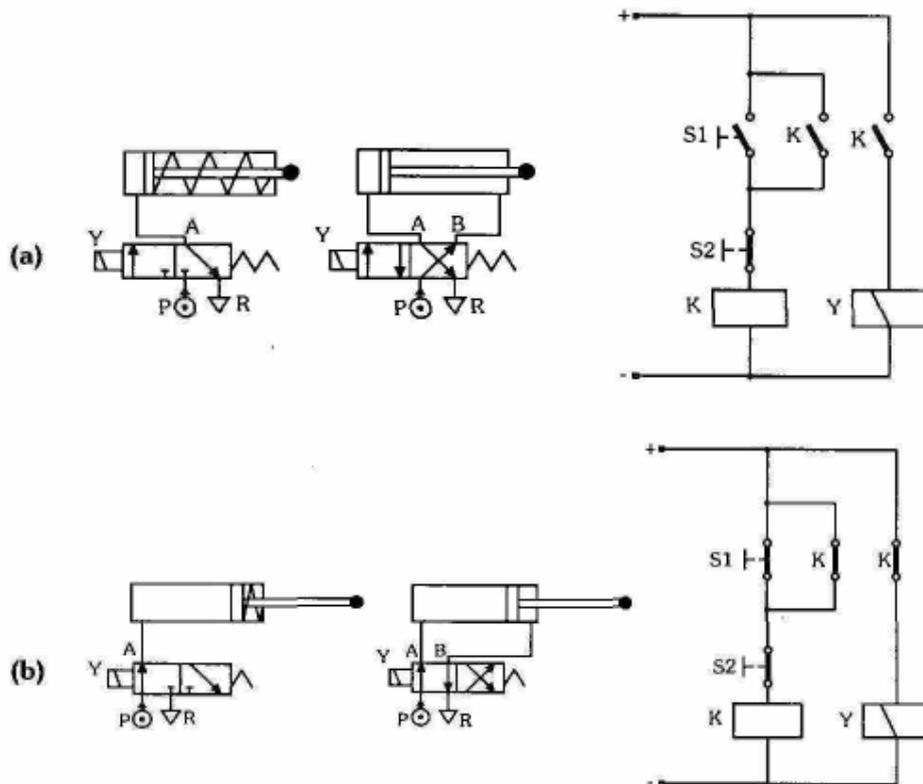
Figura 7.2 - Comando Unidirecional para um Cilindro de Dupla Ação usando Válvulas 4/2 e 5/2.

Inicialmente, a chave S com retenção encontra-se aberta, conforme mostra a figura 7.2 (a), portanto a válvula mantém-se no estado de repouso e o cilindro encontra-se recuado.

Acionando-se a chave S, a válvula troca de estado mediante a ação da corrente elétrica no solenóide, realizando o avanço da haste do cilindro, conforme mostra a figura 7.2 (b).

Desacionando-se a a chave S, a válvula retorna à posição de repouso, mediante a ação da mola, realizando o retomo da haste do cilindro, conforme a figura 7.2 (a).

Podemos também acionar os cilindros de simples ou dupla ação com chaves tipo impulso, através do circuito de auto-retenção e usando válvulas unidirecionais. A figura 7.3 mostra-nos as etapas deste comando.



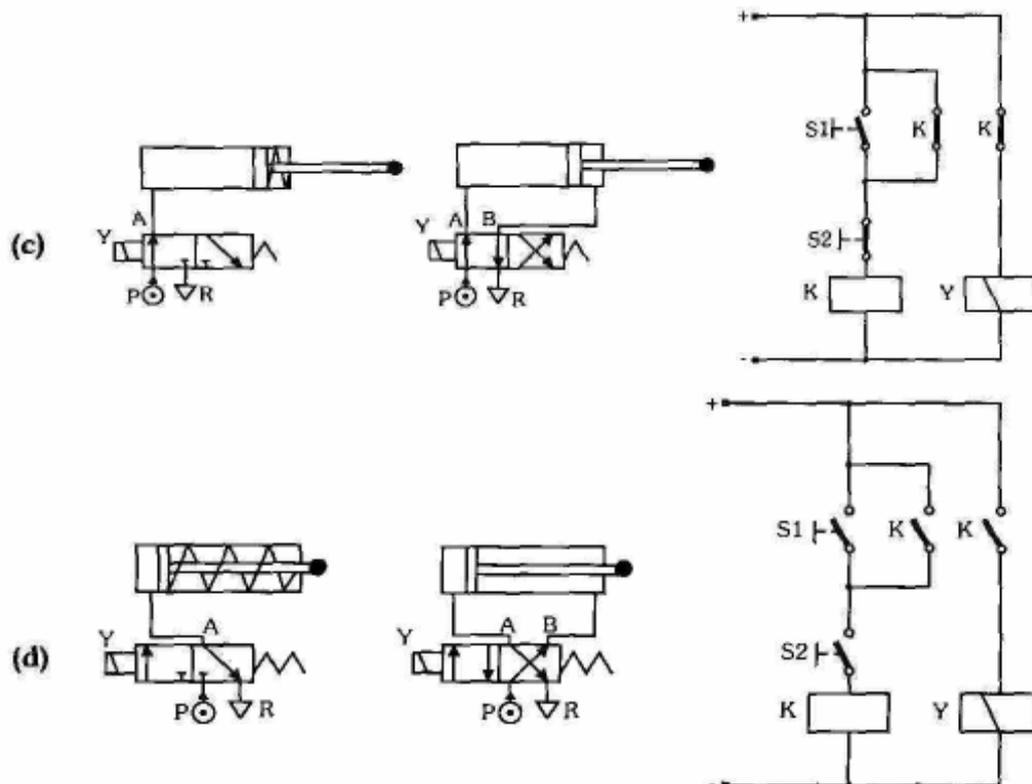


Figura 7.3 - Comando Unidirecional com Circuito de Auto-Retensão para Cilindros de Simples e Dupla Ação.

Inicialmente, o solenóide Y encontra-se desenergizado e, portanto, a válvula mantém-se no estado de repouso com a haste do cilindro recuada, como mostrado na figura 7.3 (a).

Acionando-se a chave S1, conforme mostra a figura 7.3 (b), o relé K é energizado, fechando-se os contatos auxiliares K. Desta forma, a válvula troca de estado, mediante a ação da corrente elétrica no solenóide Y, realizando o avanço da haste do cilindro. Retirando-se a força de acionamento da chave S1, conforme mostra a figura 7.3 (c), a mesma abre, mas o relé K e o solenóide Y continuam energizados através dos contatos auxiliares K, mantendo a haste do cilindro avançada.

Quando acionamos a chave S2, como na figura 7.3 (d), o relé K e, conseqüentemente, o solenóide Y são desenergizados. A válvula retorna à posição de repouso, mediante a ação da mola, realizando o retomo da haste

do cilindro. Retirando-se a força de acionamento da chave S2, a mesma fecha, porém nem o cilindro nem a válvula são acionados, porque SI e os contatos auxiliares K estão abertos, retornando à posição inicial ilustrada pela figura 7.3 (a)

A figura 7.4 mostra-nos a utilização do circuito de auto-retenção para realizar o retorno automático dos cilindros de simples ou de dupla ação.

A diferença do circuito da figura 7.4 em relação ao da figura 7.3 é que foi substituída a chave impulso S2 com acionamento manual por um sensor Sf (normalmente fechado), localizado no fim de curso. Este sensor é acionado pelo próprio movimento do cilindro.

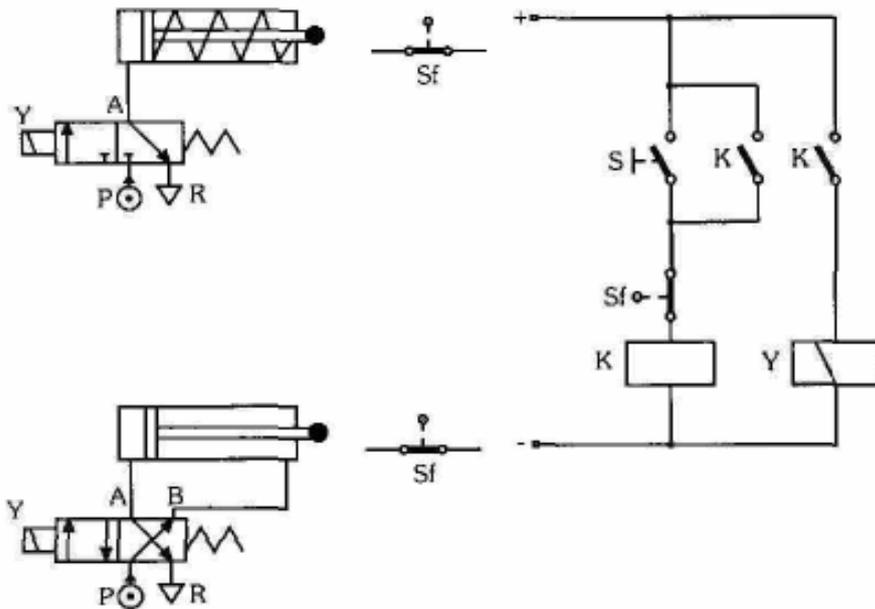


Figura 7.4 - Comando Unidirecional de Retomo Automático.

Mediante o acionamento da chave S, o cilindro avança até o fim do curso. Chegando nesta posição, o sensor fim de curso Sf é acionado pela haste do cilindro. O circuito que alimenta o solenóide Y é aberto, desenergizando-o e, conseqüentemente, fazendo o cilindro retomar à posição inicial.

A figura 7.5 mostra-nos a utilização do circuito de auto-retenção para realizar o movimento oscilante dos cilindros de simples ou dupla ação. A diferença deste circuito em relação ao da figura 7.3 é a substituição da chave impulso S I com acionamento manual por um sensor Si (normalmente aberto), localizado no início do curso, que é acionado pelo próprio movimento do cilindro.

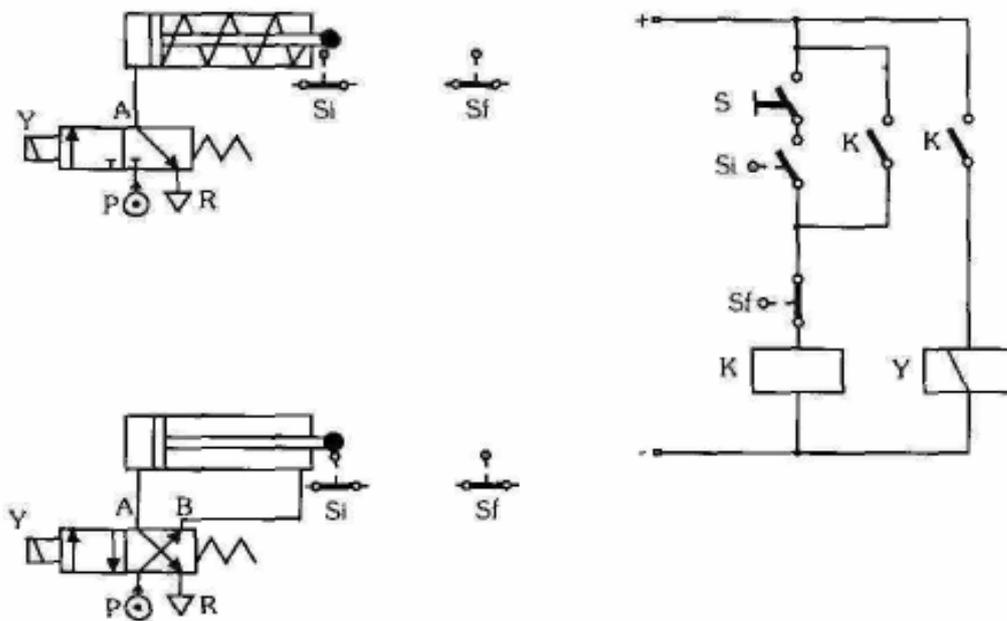
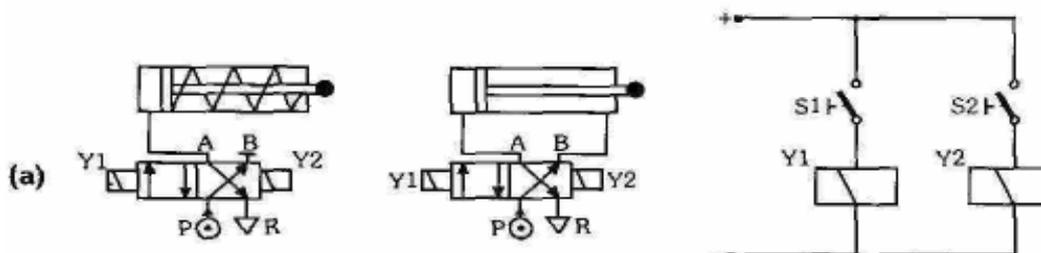


Figura 7.5 - Comando Unidirecional para obter um Movimento Oscilante.

A chave com retenção S, quando acionada, permite o movimento oscilante do cilindro. Mediante o seu desacionamento, o êmbolo sempre retoma à posição de início de curso. Com o cilindro recuado, o sensor Si é acionado e, mediante o fechamento da chave S, o cilindro avança até o fim do curso. Nesta posição, o sensor Sf é acionado pelo cilindro, fazendo o mesmo retomar à posição inicial. Desta forma, a haste do cilindro apresentará um movimento oscilante.

Comando através de Válvulas Eletropneumáticas Direcionais com Acionamento Bidirecional

A figura 7.6 mostra-nos o circuito elétrico de acionamento dos cilindros de simples ou dupla ação através de válvulas eletropneumáticas direcionais 4/2.



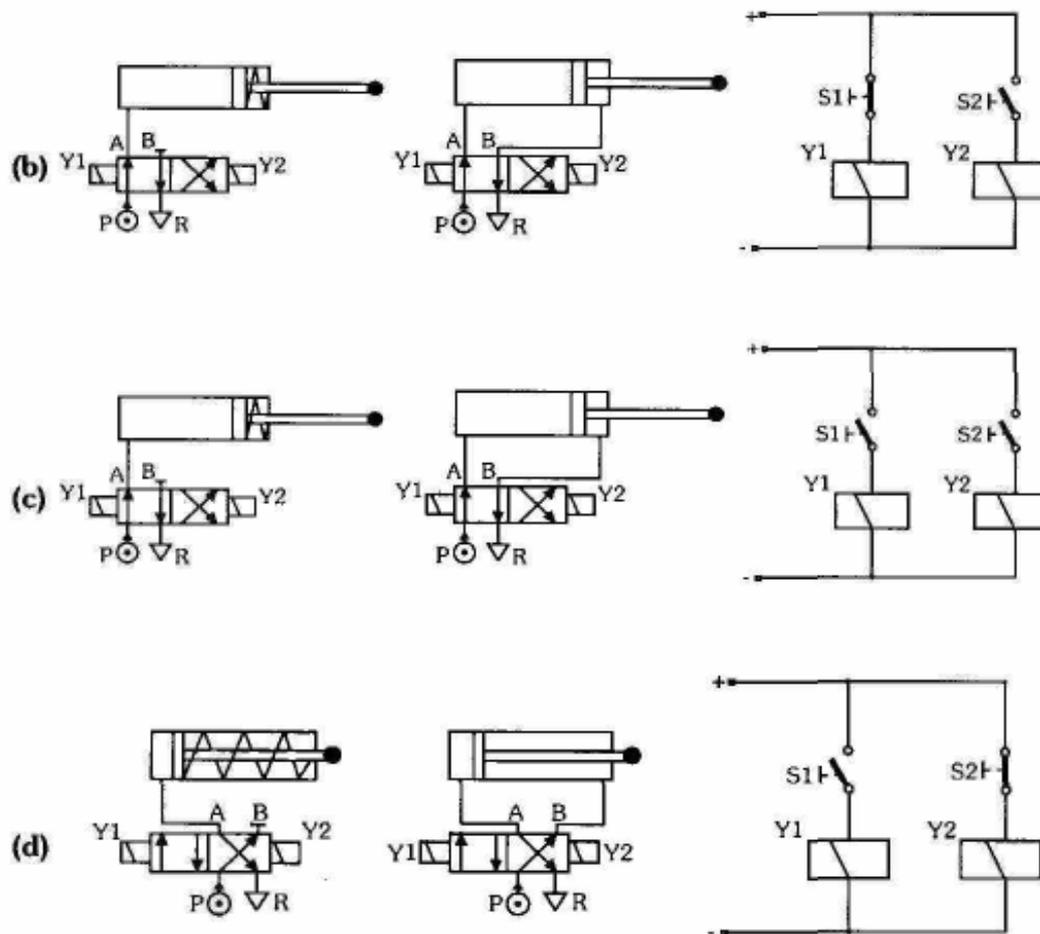


Figura 7.6 - Comando Bidirecional para Cilindros de Simples e Dupla Ação.

Inicialmente, na figura 7.6 (a), os solenóides Y1 e Y2 encontram-se desenergizados e o cilindro recuado. Mediante o acionamento da chave S1, mostrado na figura 7.6 (b), a válvula troca de estado pela ação da corrente elétrica no solenóide Y1, realizando, com isso, o avanço da haste do cilindro. Retirando-se a força de acionamento da chave S1, ela se abre, mas a haste do cilindro permanece avançada, conforme a figura 7.6 (c).

Quando acionamos a chave S2, figura 7.6 (d), a válvula novamente troca de estado pela ação da corrente no solenóide Y2, realizando o retomo da haste do cilindro. Retirando-se a força de acionamento da chave S2, ela se abre, mas a haste do cilindro permanece recuada, conforme a figura 7.6 (a).

Para realizar o retorno automático dos cilindros de simples ou dupla ação, basta substituir a chave impulso de acionamento manual S2, por um sensor normalmente aberto Sf, localizado no final do curso do cilindro, conforme mostra a figura 7.7.

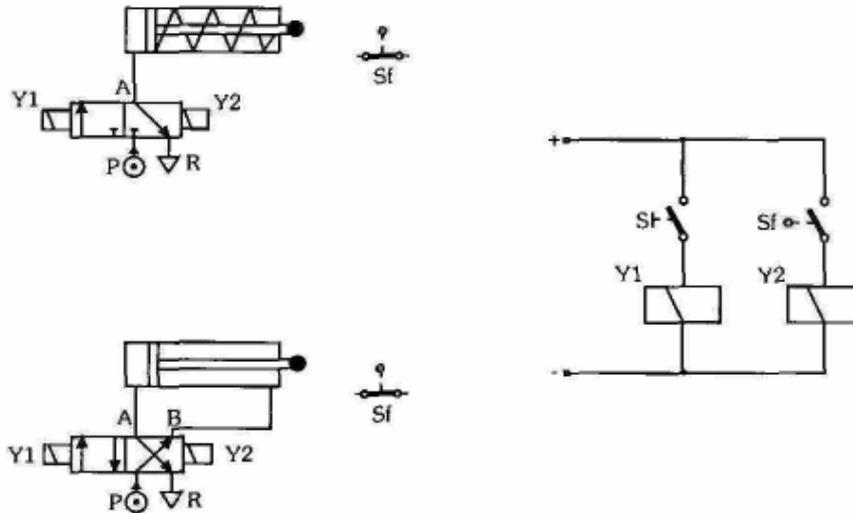


Figura 7.7 - Comando Bidirecional de Retorno Automático.

Para realizar o movimento oscilante dos cilindros de simples ou dupla ação, conforme mostra a figura 7.8, devemos substituir as chaves impulso SI e S2, por sensores normalmente abertos, Si e Sf, localizados, respectivamente, no início e no fim do curso do cilindro.

A chave S (com retenção) quando acionada, permite o movimento oscilante do cilindro.

Mediante a abertura desta chave, o êmbolo sempre retorna à posição de início de curso.

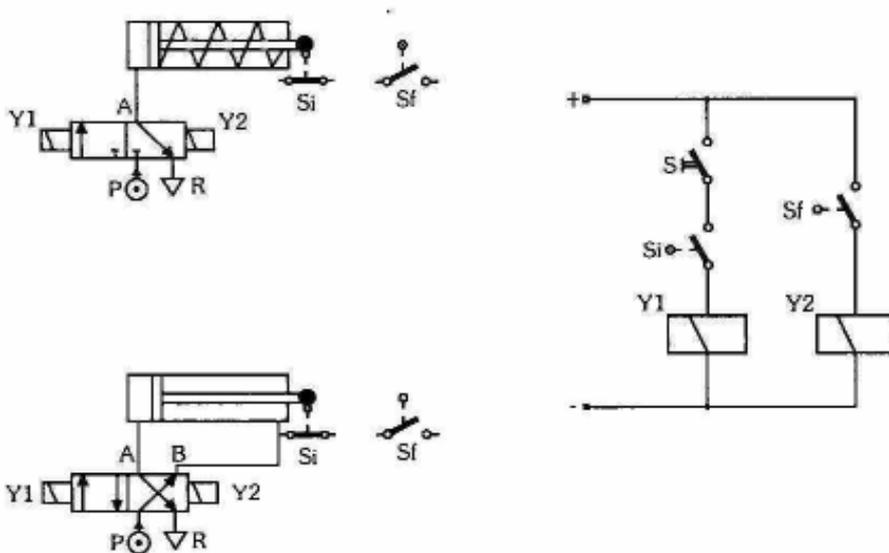


Figura 7.8 - Comando Bidirecional para obter um Movimento Oscilante.

Temporização em Processos Automatizados

Muitas vezes, é necessário usar a temporização em processos que exigem a permanência de cilindros numa determinada posição, por um certo período de tempo. Para isso utilizam-se os relés temporizados.

Pode-se, além de realizar o movimento oscilante, executar uma temporização no fim do curso, adicionando-se um relê de tempo com retardo na ligação, conforme mostra a figura 7.9.

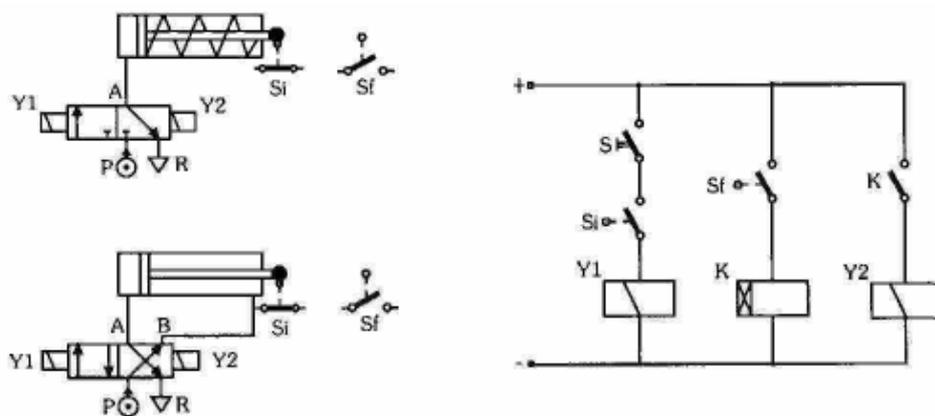


Figura 7.9 - Movimento Oscilante com Temporização no Fim do Curso.

A diferença deste comando em relação ao anterior é que o cilindro, ao chegar no fim do seu curso, aciona o relé de tempo K. Após um tempo, regulável neste relé, acontece a energização do solenóide Y2 e, conseqüentemente, o retorno do cilindro.

Contagem de Ciclos em Sistemas Automatizados

Uma outra aplicação interessante é a execução de um valor preestabelecido de ciclos num processo automatizado. Para isso, devemos inserir um contador de impulsos elétricos, conforme mostra a figura 7.10.

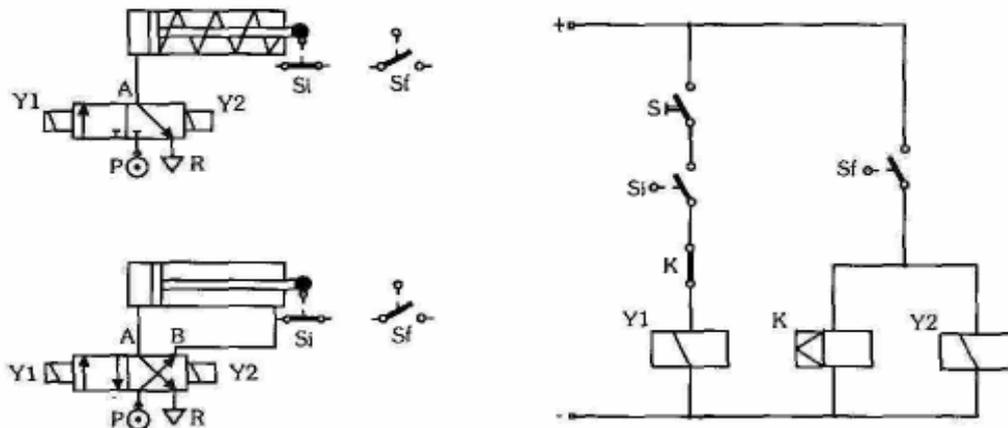


Figura 7.10 - Interrupção do Movimento Oscilante por Contador.

Inicialmente, é realizada a programação do contador pelo usuário, ou seja, o número de ciclos que o cilindro deve executar. Logo após, é acionada chave S, habilitando o movimento oscilante. A cada ciclo, através do sensor Sf, é incrementado o contador.

A abertura do contato auxiliar K do contador ocorre quando o número de impulsos elétricos na bobina K for igual ao valor programado pelo usuário, interrompendo, com isso, o movimento oscilante do cilindro.

Através do acionamento do botão de "reset" do contador, reinicia-se o movimento oscilante.

Parada de Emergência em Sistemas Automatizados

A parada de emergência em sistemas automatizados é um comando adicional e específico para cada elemento de trabalho.

Nestes processos, a parada de emergência é acionada manualmente quando se verifica um mau funcionamento elétrico ou mecânico de algum elemento do processo.

Este comando também é acionado nos casos em que o processo automatizado coloca em risco a vida, ou partes do corpo humano, dos operadores do sistema.

O comando da parada de emergência é gerado mediante o acionamento manual de uma chave normalmente fechada com retenção.

A abertura desta chave, ou seja, o retorno à posição inicial, também é feito manualmente, mediante um giro no sentido horário.

Este dispositivo de comando elétrico é conhecido como botão soco-trava.

A seguir, são mostrados dois exemplos de sua aplicação:

I- Parada de emergência com despressurização do cilindro

A figura 7.11 apresenta um cilindro de dupla ação com movimento oscilante. Quando é acionada a chave de parada de emergência PE, normalmente fechada, o sistema fica despressurizado, com a haste do cilindro livre.

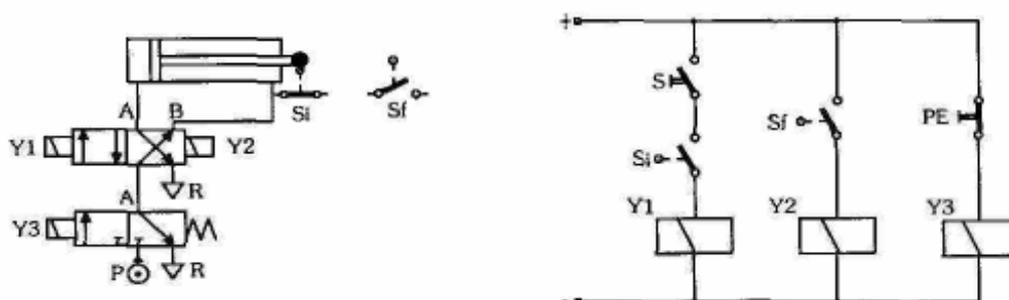


Figura 7.11 - Parada de Emergência com Despressurização do Cilindro.

II- Parada de emergência com cilindro recuado

A figura 7.12 apresenta um cilindro de dupla ação com movimento oscilante. Quando é acionada a chave de parada de emergência PE, o cilindro recua e permanece na posição recuada sob pressurização. Neste caso, a haste não fica livre.

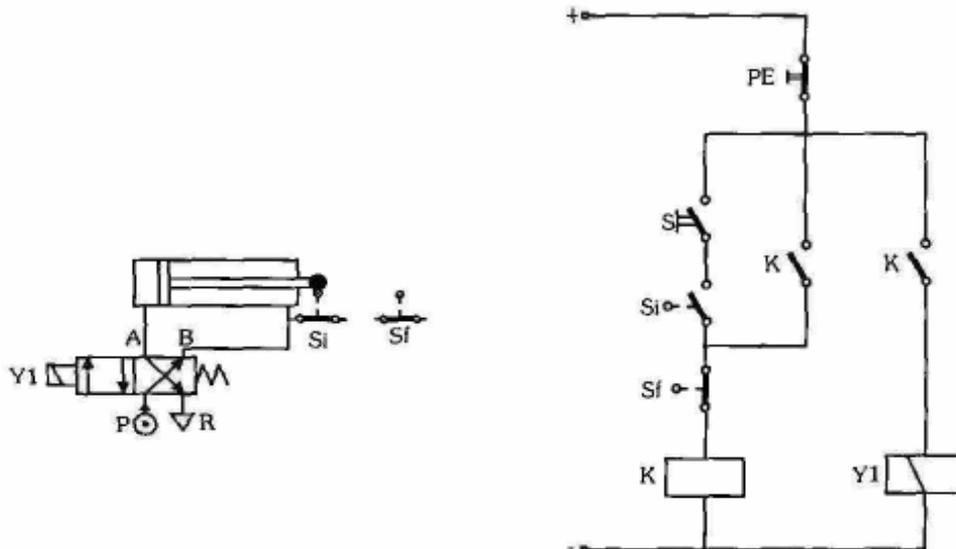


Figura 7.12 - Parada de Emergência com Cilindro Recuado.

Regulação de Vazão nos Atuadores Pneumáticos

Para realizar o ajuste de velocidade dos atuadores pneumáticos, utilizam-se as válvulas reguladoras de fluxo unidirecionais. Nestes tipos de válvulas, a regulação da vazão de ar é realizada somente em uma direção, mediante o ajuste manual do parafuso de estrangulamento, conforme mostra a figura 7.13 (a). O fluxo de ar passa livremente no sentido contrário, como mostra a figura 7.13 (b).

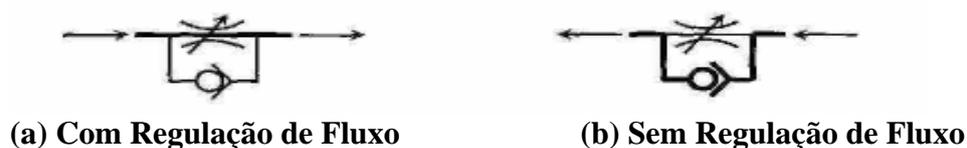


Figura 7.13 - Válvula Reguladora de Fluxo Unidirecional.

A figura 7.14 apresenta a posição onde é conectada a válvula reguladora de fluxo para o ajuste de velocidade em um cilindro de simples ação.

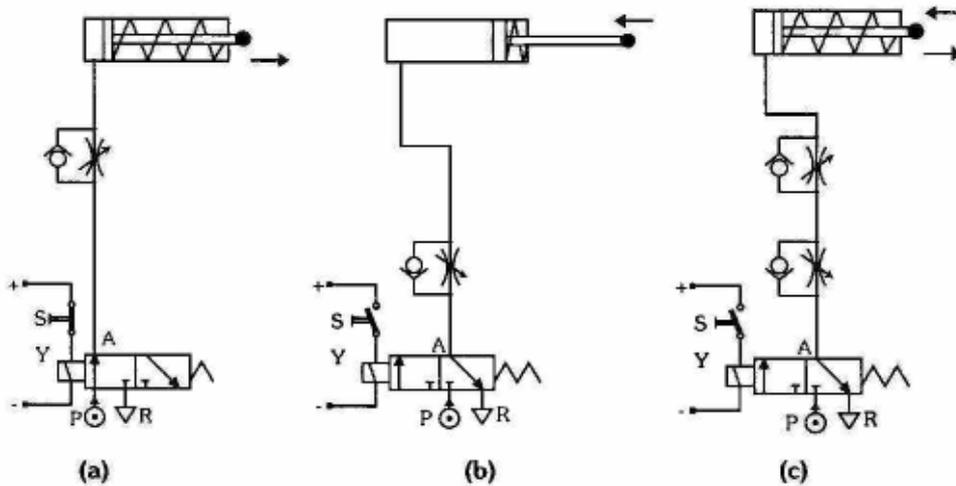


Figura 7.14 - Controle de Velocidade no Deslocamento de um Cilindro de Simples Ação.

A figura 7.14 (a) mostra-nos a maneira correta de inserir a válvula reguladora de fluxo para controlar a velocidade de avanço.

Invertendo as conexões desta válvula, passamos a controlar a velocidade de retomo do cilindro, conforme mostra a figura 7.15 (b).

Associando-se em série duas válvulas reguladoras de fluxo, conforme mostra a figura 7.15 (c), passamos a controlar as velocidades de avanço e retomo do cilindro de simples ação.

Existem duas maneiras de controlar a velocidade nos atuadores com dois orifícios acessíveis.

A primeira maneira é regular o fluxo na entrada do atuador. No entanto, este método, no acionamento de cargas pesadas, tem uma péssima regulação de velocidade devido à compressibilidade do ar.

A segunda maneira de controlar a velocidade é regular o fluxo de ar na saída do atuador. Este método é mostrado na figura 7.15, sendo um dos mais utilizados. Possui, também, uma excelente regulação de velocidade, porém

não é recomendada sua utilização em cilindros de pequeno porte, ou seja, de cursos e diâmetros reduzidos. Neste caso, a solução é associar as duas maneiras de regulação.

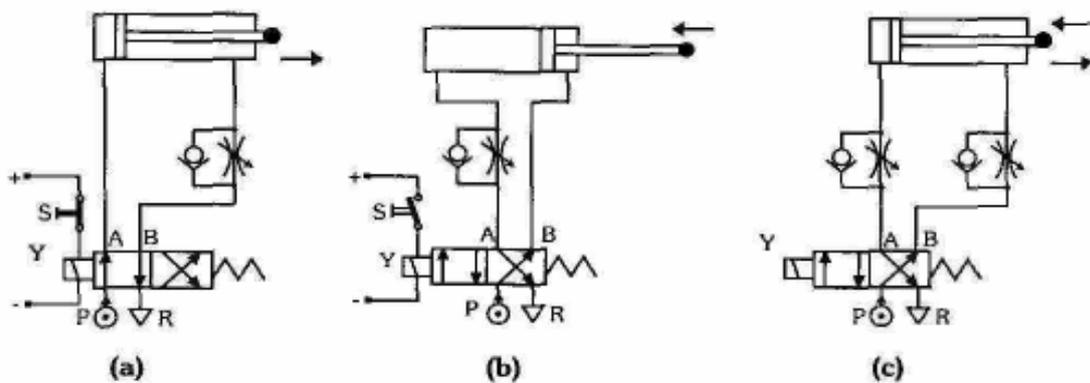
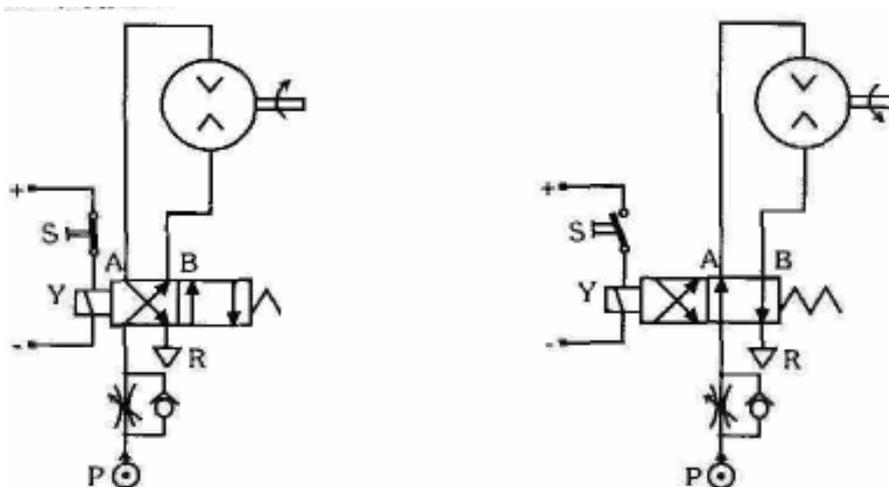


Figura 7.15 - Controle de Velocidade no Deslocamento de um Cilindro de Dupla Ação.

A figura 7.15 (a) mostra-nos a posição correia da válvula reguladora de fluxo para controlar a velocidade de avanço. A figura 7.15 (b) apresenta o controle na velocidade de retomo do cilindro. Unindo ambos os controles, teremos o ajuste das velocidades de avanço e retomo, conforme mostra a figura 7.15 (c).

A figura 7.16 mostra-nos como é conectada a válvula reguladora de fluxo de ar para controlar a velocidade de um motor pneumático. O sentido de rotação, entretanto, é definido pela posição da válvula direcional, mediante o comando elétrico.



(a) Controle de Velocidade no Sentido Horário

(b) Controle de Velocidade no Sentido Anti-Horário

Figura 7.16 - Controle de Velocidade num Motor Pneumático de Palhetas.

Acionando-se a chave S, conforme a figura 7.16 (a), a válvula troca de estado, fazendo o motor pneumático girar no sentido horário. Desacionando-se a chave S, conforme a figura 7.16 (b), a válvula retorna à posição de repouso, fazendo o motor pneumático girar no sentido anti-horário.

Em ambos os casos, a válvula reguladora de fluxo controla a velocidade desde zero (rotor parado), até a rotação nominal, mediante o acionamento de seu parafuso estrangulador.

Regulação de Pressão nos Atuadores Pneumáticos

A figura 7.17 mostra a simbologia da válvula reguladora de pressão.

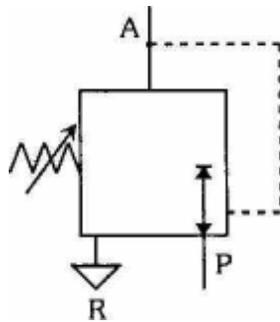


Figura 7.17 - Válvula Reguladora de Pressão

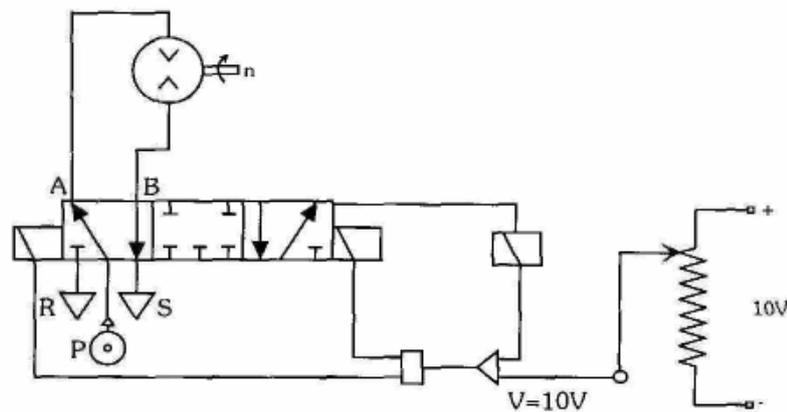
As válvulas reguladoras de pressão realizam o ajuste de força ou torque no acionamento dos atuadores pneumáticos. Sabe-se que nos cilindros, a força é aproximadamente igual ao produto da pressão pela área do êmbolo, portanto, se regulamos a pressão, automaticamente estamos controlando a força de acionamento.

Neste tipo de válvula, a regulagem da pressão é realizada mediante o acionamento manual do parafuso de ajuste da pressão.

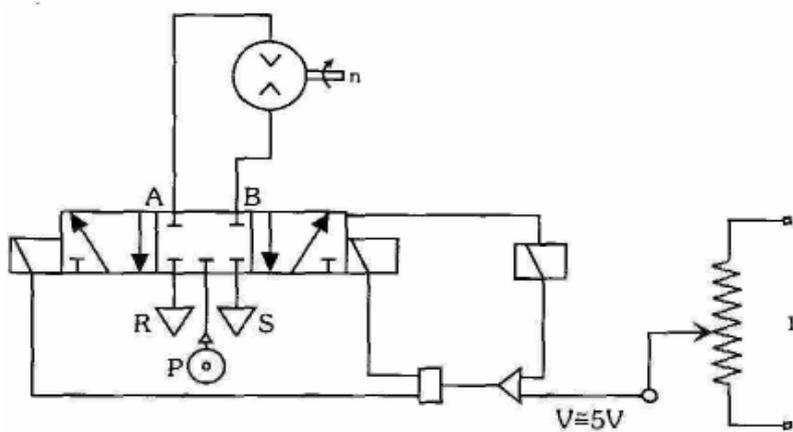
A função desta válvula é compensar automaticamente o volume de ar requerido pelos atuadores pneumáticos, mantendo constante a pressão de trabalho. As flutuações de pressão na entrada P da válvula são também compensadas, desde que estas não sejam inferiores à pressão regulada pela válvula.

Comando através de Válvulas Eletropneumáticas Proporcionais

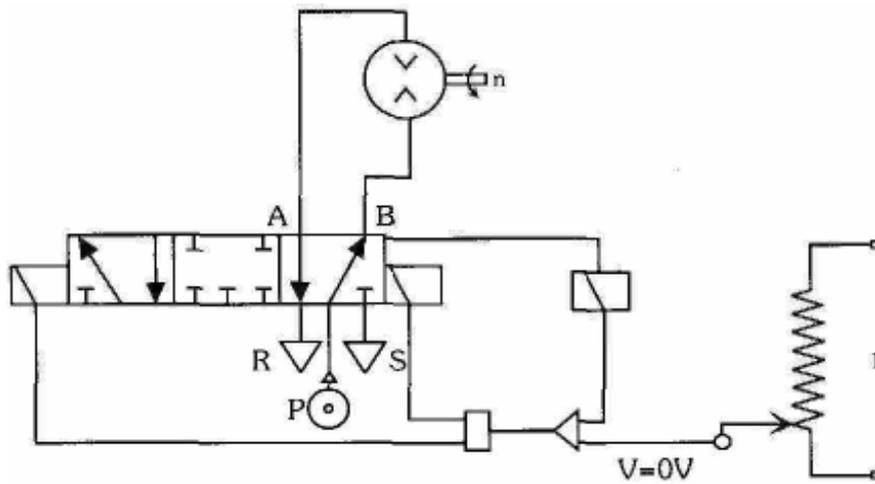
O controle de velocidade e sentido de rotação de motores pneumáticos podem ser também executados através de um único elemento acionado eletricamente. Este componente chama-se válvula eletropneumática **proporcional de vazão**. A figura 7.18 mostra-nos como este acionamento pode ser executado.



(a) Velocidade Máxima no Sentido Horário



(b) Motor Parado



(c) Velocidade Máxima no Sentido Anti-Horário

Figura 7.18 - Controle de Velocidade num Motor Pneumático através de uma Válvula Eletropneumática Proporcional de Vazão.

A força de acionamento dos cilindros pneumáticos também pode ser controlada eletricamente, através da válvula proporcional de pressão. A figura 7.19 mostra-nos como podemos controlar a força de avanço e retorno de um cilindro pneumático de dupla ação.

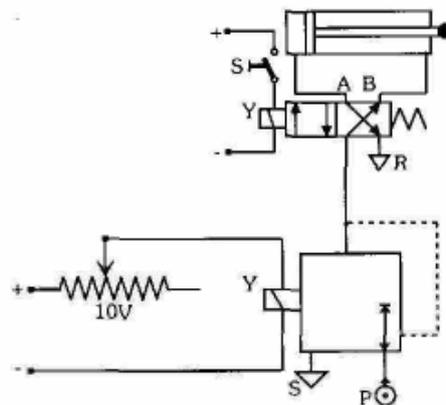


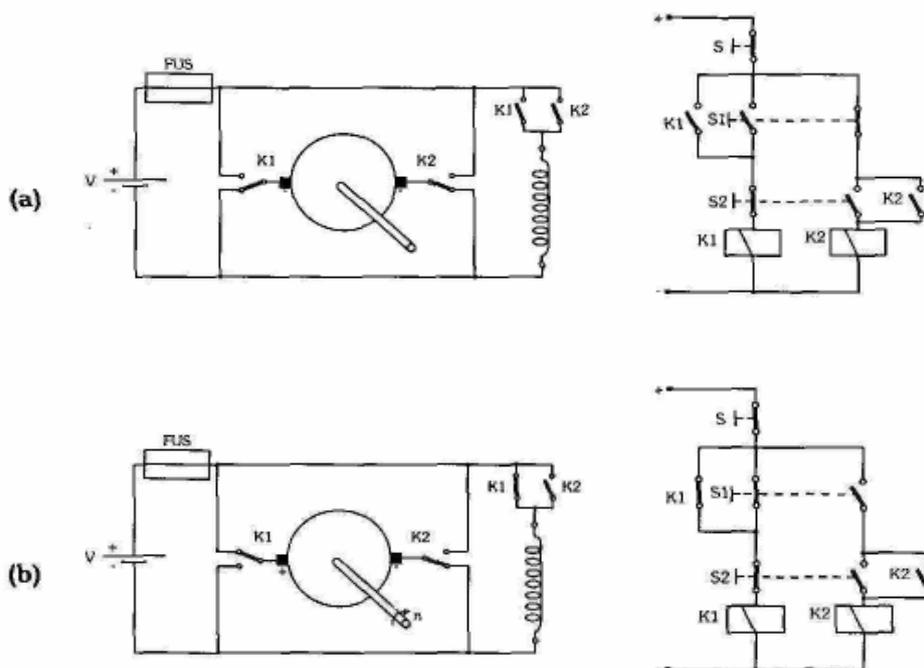
Figura 7.19 - Controle da Força de Acionamento

Na figura 7.19, a força de acionamento é regulada através de um reostato. O deslocamento do cursor para a esquerda deste reostato provoca um aumento da tensão no solenóide do regulador de pressão, que varia desde 0V até 10V. Conseqüentemente, a força de acionamento aumenta desde zero até a sua força máxima.

7.3- Acionamento de Máquinas Elétricas

Geralmente, os motores elétricos empregados em automação eletropneumática são de pequena potência, menores que 5CV, com partida e reversão diretas, acionando cargas do tipo esteiras, ventiladores, posicionadores lineares, bombas hidráulicas, furadeiras etc.

A figura 7.20 mostra-nos o acionamento de um motor de corrente contínua com corrente de campo constante, e a possibilidade de reversão de velocidade.



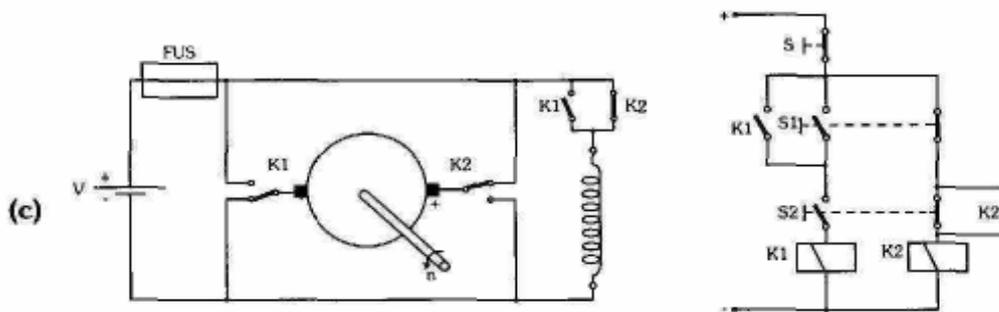


Figura 7.20 - Acionamento de Motor de Corrente Contínua com Reversão de Velocidade.

A função da chave S (sem retenção, normalmente fechada) é desligar o motor. As chaves do tipo impulso S1 e S2 (com contatos NA + NF) acionam o motor, respectivamente, nos sentidos horário e anti-horário.

Na figura 7.20 (a), a armadura e o campo do motor estão desenergizados e, portanto, o motor está parado. Acionando-se a chave S1, figura 7.21 (b), o motor começa a girar no sentido horário. Se acionarmos a chave S2, figura 7.21 (c), o motor muda o sentido de giro para anti-horário. E, se acionarmos a chave S, o motor é desenergizado, voltando à situação da figura 7.20 (a).

Na figura 7.21, mostramos o acionamento de um motor de indução monofásico através de um circuito de auto-retenção.

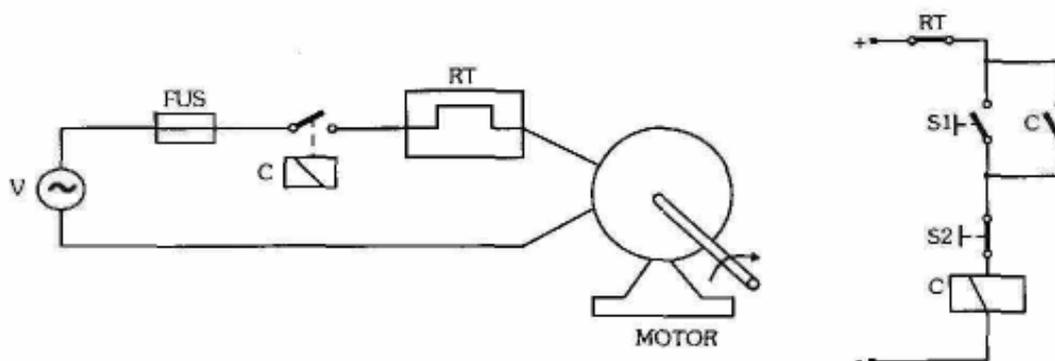


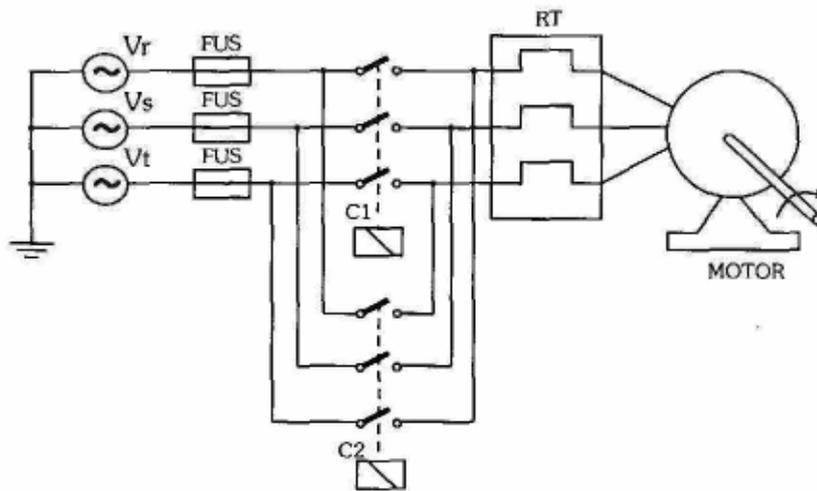
Figura 7.21 - Acionamento de um Motor de Indução Monofásico.

Acionando-se a chave S1, liga-se o motor, e acionando-se a chave S2, desliga-se o motor.

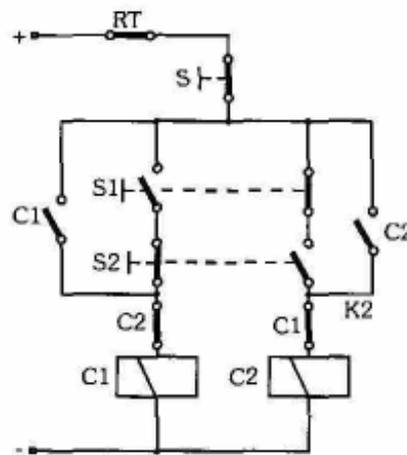
Para inverter o sentido de rotação, deve-se desligar a alimentação do motor e inverter os terminais do circuito de partida, ou seja, trocar a posição do terminal 5 pelo 6.

A figura 5.12 da página 44 mostrou-nos o acionamento de um motor de indução trifásico através do contator C. Acionando-se a chave impulso SI, liga-se o motor e, acionando-se a chave impulso S2, desliga-se o motor.

A figura 7.22 mostra-nos os circuitos de potência e de comando para o acionamento de um motor de indução trifásico, nos dois sentidos de rotação.



(a) Circuito de Potência



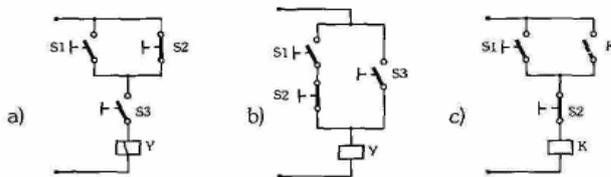
(b) Circuito de Comando

Figura 7.22 - Acionamento de um Motor de Indução Trifásico com Reversão de Velocidade.

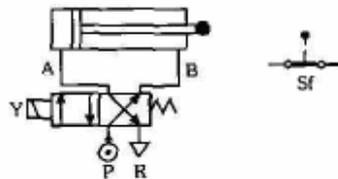
Inicialmente, os contatões C1 e C2 encontram-se abertos e o motor parado. Acionando-se a chave SI, figura 7.22 (b), energiza-se o contator C1 e o motor gira no sentido horário. Para inverter o sentido de rotação do motor, ou seja, para fazê-lo girar no sentido anti-horário, deve-se acionar, em primeiro lugar, a chave S para desenergizar o contator C1. Em segundo lugar, deve-se comandar a chave S2, conforme mostra a figura 7.22 (b), energizando o contator C2, acionando, com isso, o motor no sentido anti-horário.

Exercícios Propostos

7.1- Determine a função lógica e a tabela-verdade a partir dos circuitos elétricos seguintes:



7.2- Dada a estrutura abaixo, desenhe o circuito elétrico que realiza o movimento de retorno automático com temporização no fim do curso.



7.3- Acrescentando um sensor de início de curso Si, normalmente aberto na estrutura eletropneumática do exercício anterior, desenhe o circuito elétrico que realiza o movimento oscilante com temporização no início do curso.

7.4- No exercício anterior, acrescente uma chave de parada de emergência que, quando acionada, mantém o cilindro avançado.

7.5- Desenhe o circuito de acionamento elétrico de um motor de corrente contínua série com reversão de velocidade.

Circuitos Elétricos Seqüenciais

8

8.1 - Seqüência de Operações

8.2 - Diagrama de Acionamento dos Sensores

8.3 - Diagrama de Comando dos Atuadores

8.4 - Método Seqüencial

Exercícios Propostos

O objetivo fundamental deste capítulo é fornecer os conhecimentos necessários para que se possam elaborar de forma lógica, racional e económica, circuitos elétricos para controle de processos automatizados, partindo da seqüência de operações dos mesmos. Iremos estudar neste capítulo, o **método seqüencial** de maneira evolutiva, ou seja, aumentaremos a complexidade dos processos automatizados, de forma gradual e motivadora ao leitor.

8.1 - Seqüência de Operações

A seqüência de operações ou movimentos é retirada da planta do processo a ser automatizado mediante a observação da atuação dos elementos de trabalho.

Através do exemplo prático da figura 8.1, demonstraremos as várias formas de representarmos uma seqüência de operações.

Circuitos Elétricos Seqüenciais

Exemplo 1: Mudança de Esteira Transportadora

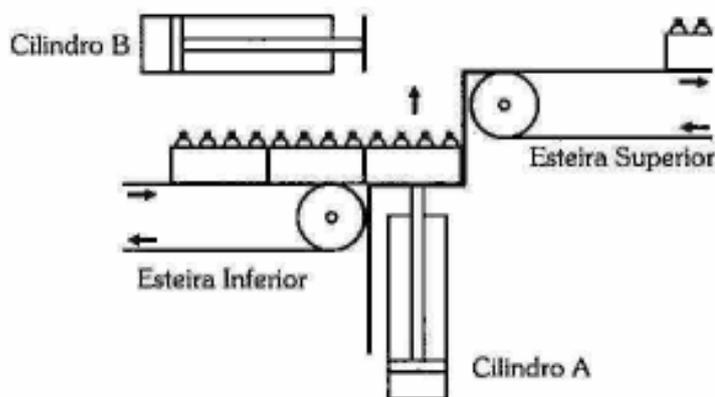
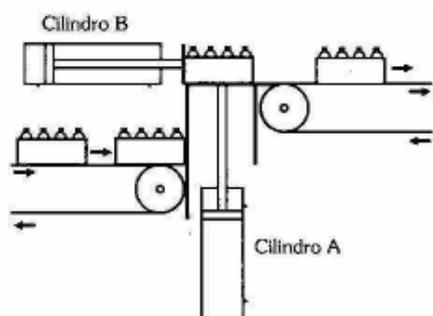


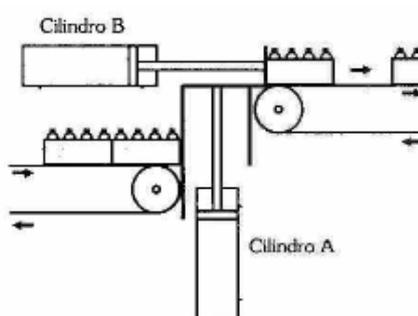
Figura 8.1 – Esboço do Mecanismo de mudança de Esteira

Os passos de funcionamento do mecanismo de mudança de esteira transportadora são vistos através do conjunto de desenhos representado pela figura 8.2.

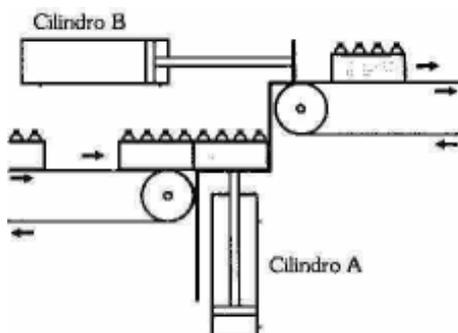
(a) Passo 1: Avanço do Cilindro



A (b) Passo 2: Avanço do Cilindro



(c) Passo 3: Retorno do Cilindro A



(d) Passo 4: Retorno do Cilindro B

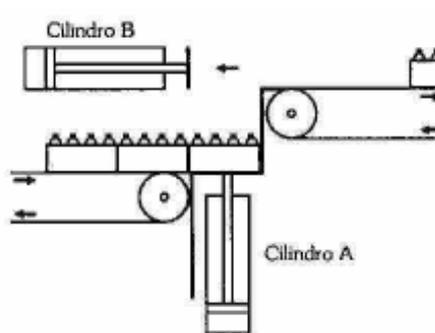
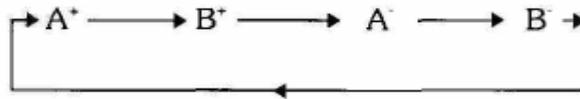


Figura 8.2 - Funcionamento do Exemplo 1.

Considerando apenas os atuadores pneumáticos, verifica-se na figura 8.2, que a seqüência cronológica de operações é a seguinte:

- Passo 1 \Rightarrow cilindro A avança (A+)
- Passo 2 \Rightarrow cilindro B avança (B+)
- Passo 3 \Rightarrow cilindro A retorna (A-)
- Passo 4 \Rightarrow cilindro B retorna (B-)

Observa-se que o processo é cíclico, ou seja, o passo 5 será igual ao passo 1. O sinal (+) significa avanço ou acionamento, enquanto o sinal (-) indica retorno ou desacionamento dos elementos de trabalho. Podemos também representar a seqüência de operações da seguinte forma:



A maneira mais utilizada para representar as seqüências de operações dos elementos de trabalho é através do diagrama trajeto-passo. Neste diagrama, os passos, que são mudanças de estado dos elementos de trabalho, são representados por linhas horizontais e equidistantes. O trajeto é desenhado sem escala, na vertical e igual para todos os atuadores. Cada elemento de trabalho pode assumir apenas duas posições:

- Posição 0 \Rightarrow elemento de trabalho recuado ou desacionado
 - Posição 1 \Rightarrow elemento de trabalho avançado ou acionado
- A figura 8.3 mostra-nos o diagrama trajeto-passo do exemplo 1.

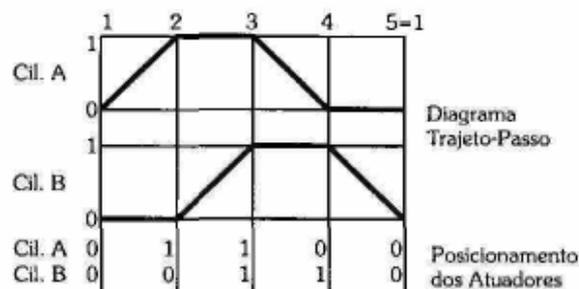


Figura 8.3 - Diagrama Trajeto-Passo do Exemplo 1.

Abaixo do diagrama trajeto-passo, estabelece-se o posicionamento dos elementos de trabalho. Observa-se que as combinações do posicionamento dos cilindros A e B são diferentes a cada passo, ou seja:

- passo 1 (0,0) # passo 2 (1,0) # passo 3 (1,1) # passo 4 (0,1)

Neste caso, a solução é simples, porém, quando existem combinações de posicionamentos iguais em passos diferentes, a solução é mais complexa.

8.2 - Diagrama de Acionamento dos Sensores

Quando os sensores elétricos são acionados, informam ao circuito elétrico de controle a posição ou o estado de cada elemento de trabalho.

Cabe ao projetista escolher os tipos de sensores elétricos mais adequados ao projeto e definir a melhor localização dos mesmos. Porém, nesta fase de estudos, não nos preocuparemos com este tipo de problema, mas com o acionamento dos sensores.

Considere no exemplo 1, os sensores fixados ao longo da trajetória das hastes dos cilindros, conforme mostra a figura 8.4.

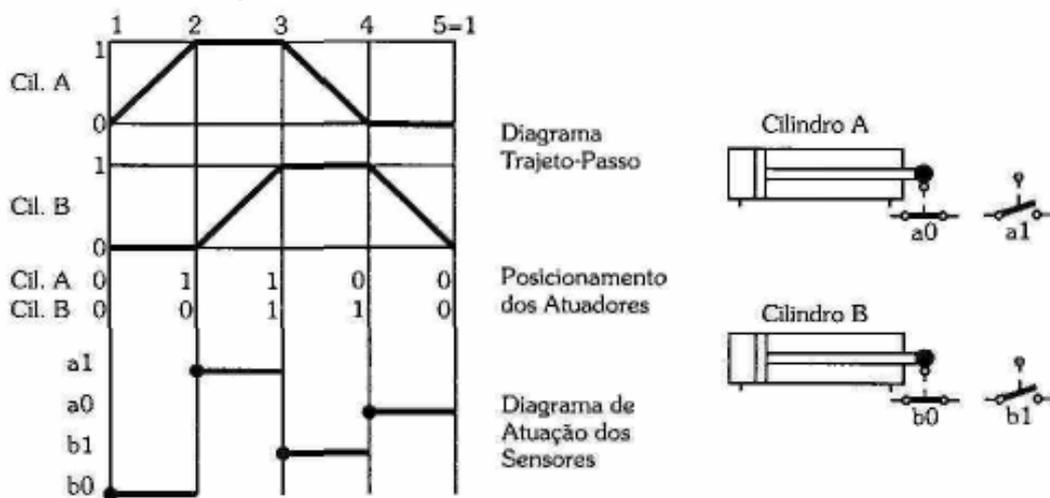


Figura 8.4 - Diagrama de Atuação dos Sensores do Exemplo 1.

Neste exemplo, os sensores são colocados para detectar as posições 0 e 1 dos cilindros A e B. Convenciona-se chamar de **a0** e **a1** os sensores que detectam, respectivamente, o início (posição 0) e o fim (posição 1) do curso do cilindro **A**; assim como **b0** e **b1** para o cilindro **B**.

No diagrama de atuação dos sensores da figura 8.4, o início da atuação de um sensor é representado por um ponto sobre o passo correspondente e a duração da atuação é representada por uma linha horizontal contínua.

Observando o sensor **a1**, verifica-se no diagrama trajeto-passo, que o mesmo começa a atuar no passo 2 persistindo até o passo 3. Já o sensor **a0** atua entre os passos 4 e 5, o sensor **b1** entre 3 e 4 e o sensor **b0** entre 1 e 2.

8.3 - Diagrama de Comando dos Atuadores

Consideremos o comando elétrico bidirecional, mas ao desenvolver o método sequencial, iremos executar simplificações importantíssimas, transformando, quando possível, este comando em unidirecional, ou seja, o elemento de comando retorna à posição de repouso por ação de uma mola, quando o seu acionamento externo é extinto.

A figura 8.5 mostra-nos o diagrama de comando dos elementos de trabalho do exemplo 1.

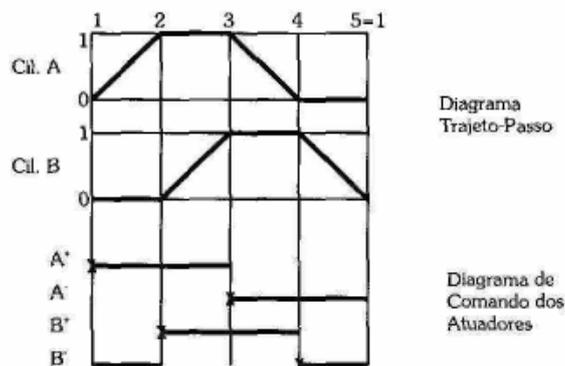


Figura 8.5 - Diagrama de Comando dos Atuadores do Exemplo 1.

Neste diagrama de comando dos atuadores, o início do comando de um elemento de trabalho é representado por um **X** sobre o passo correspondente, e a duração máxima deste comando é representada por um linha horizontal contínua.

Podemos dizer que o **intervalo de tempo máximo** destinado ao comando A+ é complementar de A, o mesmo acontecendo com os comandos B+ e B.

Para realizar o avanço do cilindro A, verifica-se no diagrama trajeto-passo que o comando A* deve começar no passo 1 e, no máximo, terminar no passo 3.

O comando de avanço do cilindro B, isto é, B», deve começar no passo 2 e, no máximo, terminar no passo 4. Os comandos de retorno dos cilindros A e B, isto é, A e B, devem, respectivamente, começar nos passos 3 e 4, e, no máximo, possuir uma duração de 2 passos.

A expressão "e no máximo" utilizada no parágrafo anterior, reforça a ideia de que usamos o comando bidirecional através de pulsos de corrente momentâneos, sendo que na maior parte das vezes, os sensores elétricos geram comandos contínuos, isto é, sinais de corrente que permanecem durante algum tempo.

Usa-se o comando **bidirecional** quando o tempo de duração da atuação do sensor elétrico é **menor** que o tempo de comando do respectivo atuador. Quando estes tempos são **iguais** no avanço ou retorno, utiliza-se o comando **unidirecional**, ocorrendo, portanto, uma simplificação no acionamento.

No caso de o tempo de atuação do sensor elétrico ser maior que o tempo de comando do respectivo atuador, deveríamos usar um comando **bidirecional simultâneo**, mas como haveria sobreposição dos tempos de atuação dos sensores, este comando não é aplicado, sendo um erro utilizá-lo.

Para isso, utilizam-se combinações de dois ou mais sensores, através de associações, até se obter um tempo **menor ou igual** ao tempo de atuação do cilindro. A figura 8.6 mostra as possibilidades de acionamento de um atuador N qualquer através dos diversos sensores.

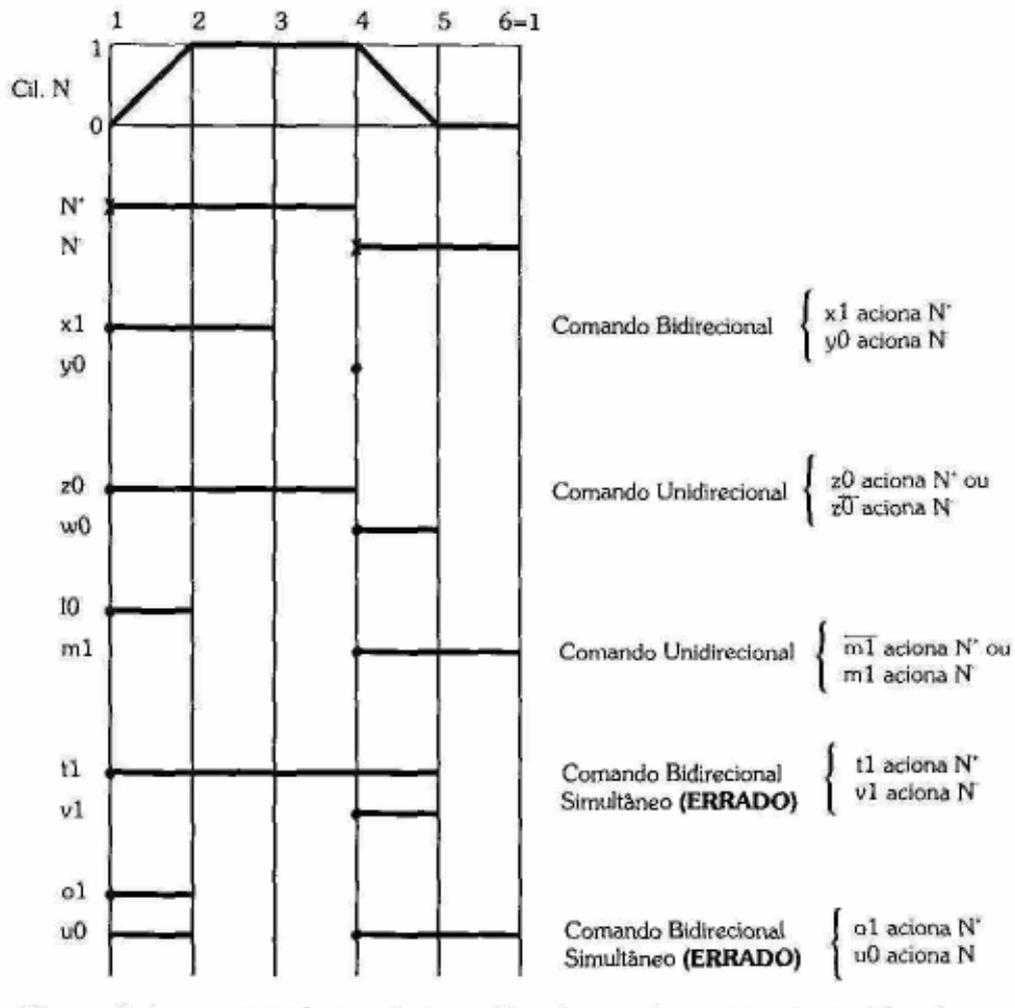


Figura 8.6 - Possibilidades Certas e Erradas no Acionamento de Atuadores.

8.4 - Método Seqüencial

Após todo o trabalho de elaboração dos diagramas, como mostra a figura 8.7, estamos prontos para definir a solução do exemplo 1 utilizando o método seqüencial. Este método consiste em definir as equações de acionamento dos elementos de trabalho, mediante a comparação do diagrama de comando dos atuadores com o de atuação dos sensores.

As equações de acionamento dos atuadores, por sua vez, definem o **circuito elétrico de controle** do processo automatizado.

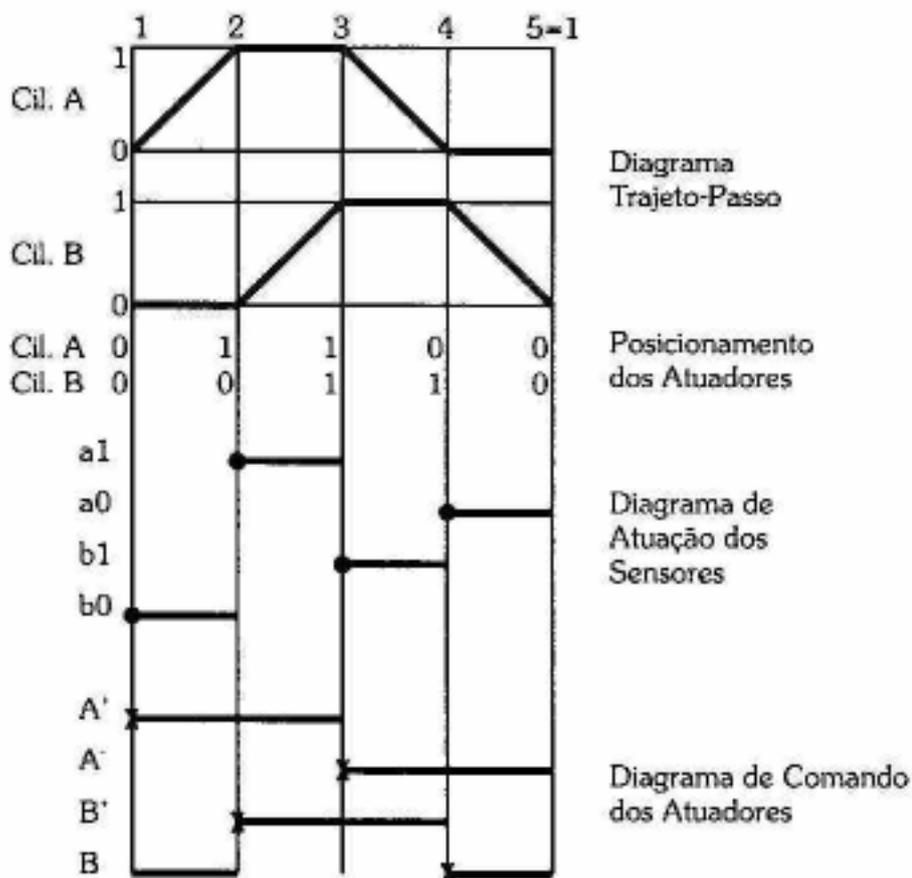


Figura 8.7 - Diagramas do Método Seqüencial do Exemplo 1.

Observando-se os diagramas, verifica-se que:

- A+ e b0 iniciam no passo 1 e A- e b1 iniciam no passo 3. E ainda, a duração da atuação dos sensores b0 e b1 é, respectivamente, **menor** que a duração dos comandos A+ e A-, portanto o comando do atuador A é **bidirecional** e as equações que o definem são:

$$A+ = b0 \quad e \quad A- = b1$$

Porém, como o início do ciclo de trabalho deve ser comandado por uma chave liga/desliga, o comando de A+ é acrescido de uma chave S, com retenção, em série com o sensor b0, de forma que o ciclo só tenha início quando S for acionado e b0 for igual a 1.

Assim, as equações finais passam a ser:

$$A+ = b0S \quad e \quad A- = b1$$

- B+ e a1 iniciam no passo 2 e B- e a0 iniciam no passo 4. Observamos, ainda, que a duração da atuação dos sensores ai e a0 é, respectivamente, menor que a duração dos comandos B+ e B-, portanto o comando do atuador B é bidirecional e as equações que o definem são:

$$B^+ = a1 \quad \text{e} \quad B^- = a0$$

A figura 8.8 mostra o sistema eletropneumático, as equações e o circuito elétrico de controle do processo de mudança de esteira.

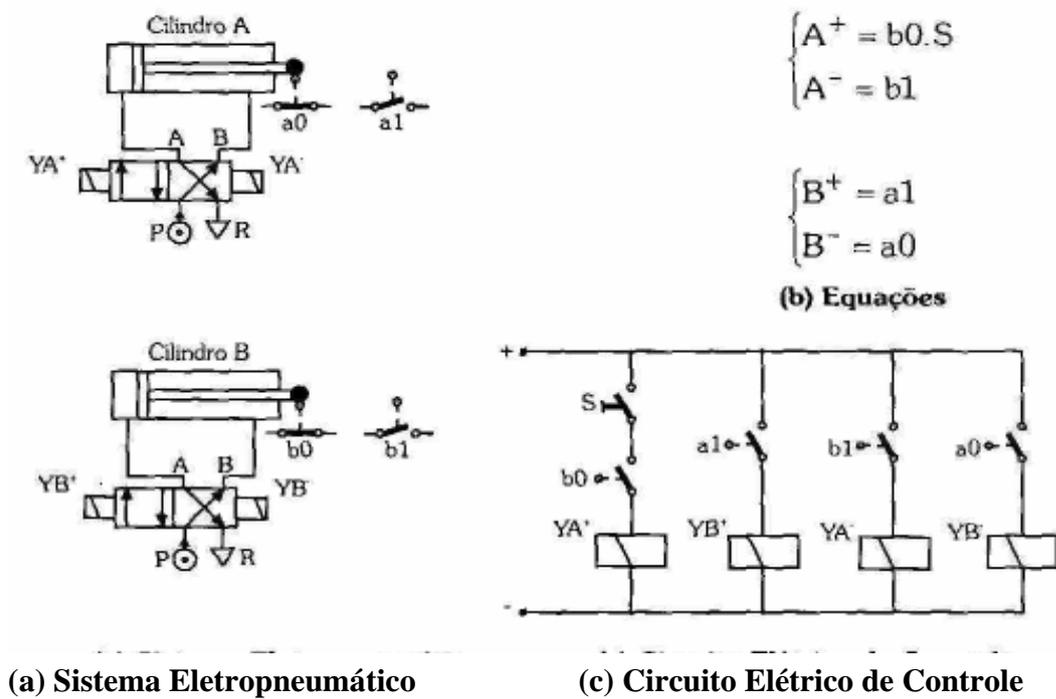
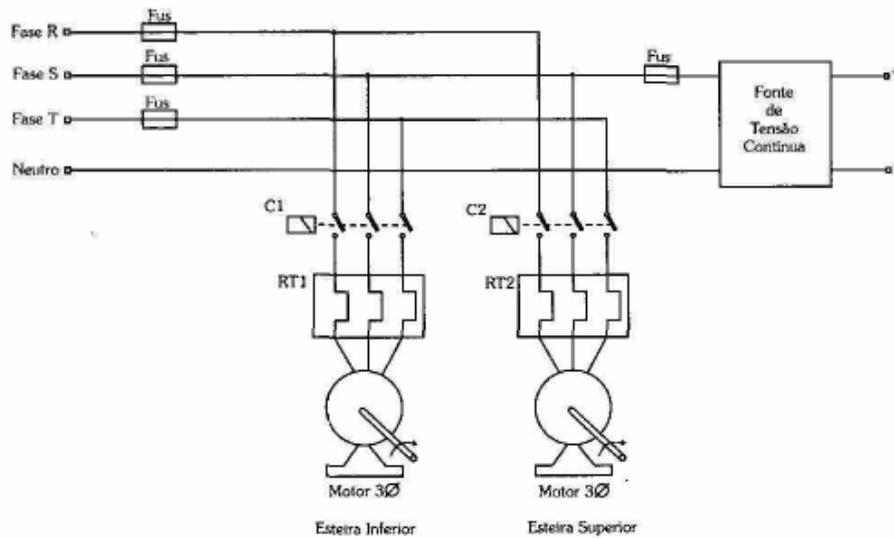
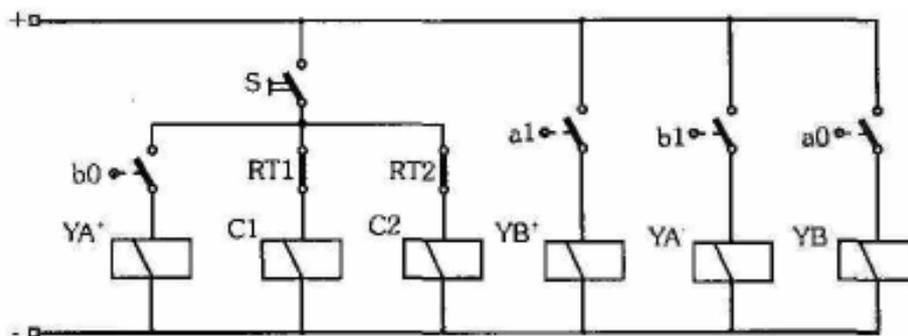


Figura 8.8 - Solução do Processo do Exemplo 1.

Os motores elétricos das esteiras transportadoras do exemplo 1 são motores de indução trifásicos. A figura 8.9 mostra o circuito elétrico de acionamento dos motores juntamente com o circuito de controle completo.



(a) Circuito Elétrico de Potência



(b) Circuito Elétrico de Controle Completo

Figura 8.9 - Sistema Elétrico do Exemplo 1.

A fonte de tensão contínua mostrada na figura 8.9 (a) é um conversor estático que transforma energia elétrica alternada em contínua (por exemplo: 220 V alternados para 24 V contínuos), e serve para alimentar o circuito elétrico de controle.

A chave S com retenção, quando acionada, liga os motores elétricos das esteiras e comanda, Juntamente com o sensor b0, o movimento A+. Desacionando-se esta chave, o sistema completa o ciclo e estaciona no passo 1, com os motores desligados, ou seja, esteiras paradas.

Exemplo 2: Dispositivo para Curvar Peças Circulares

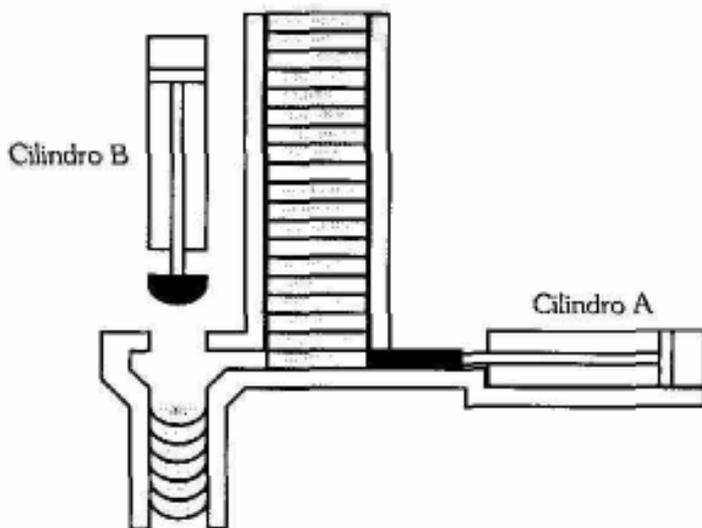


Figura 8.10 - Dispositivo para Curvar Peças Circulares.

Analisando o funcionamento do dispositivo de curvar peças circulares da figura 8.10, chega-se à conclusão de que este processo automatizado apresenta a seqüência de operações e o diagrama trajeto-passo representados na figura 8.11.

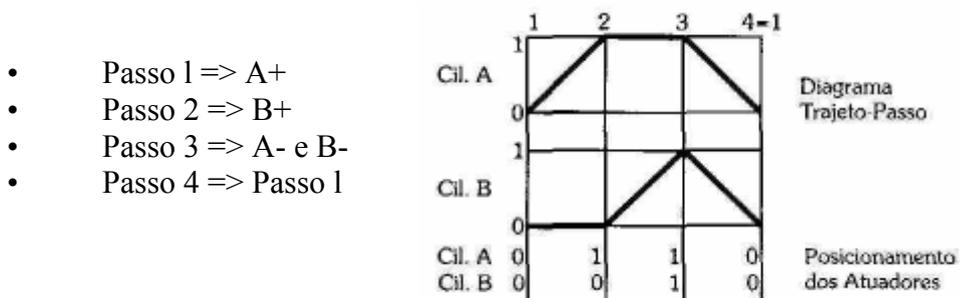


Figura 8.11 – Seqüência de Operação e Diagrama Trajeto-Passo do Exemplo 2.

É aconselhável, sempre que possível, diminuir o número de passos dos processos automatizados, realizando-se mais de uma operação num único passo. Decorrente desta simultaneidade de operações ou movimentos, surgem as seguintes vantagens:

- O tempo de execução do diagrama trajeto-passo é menor, ou seja, o processo torna-se mais rápido;
- Geralmente, ocorre a diminuição do número de sensores no processo.

Observa-se que no exemplo 2, ocorrem dois movimentos no passo 3: A" e B". Observa-se, também, que as combinações das posições assumidas pelos cilindros A e B são diferentes em cada passo, ou seja:

- passo 1 (0,0) ≠ passo 2 (1,0) passo ≠ 3 (1,1)

A figura 8.12 mostra-nos os diagramas para o dispositivo de curvar peças circulares do exemplo 2.

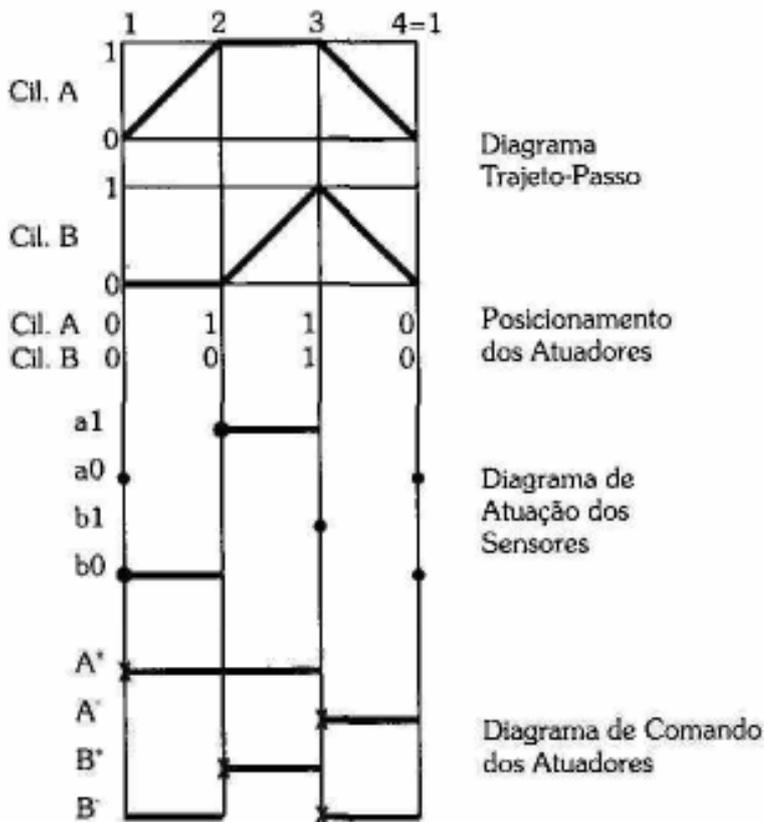


Figura 8.12 - Diagramas do Método Seqüencial do Exemplo 2.

Analisando-se os diagramas, verifica-se que:

- A^+ e a_0 iniciam no passo 1 e A^- e b_1 iniciam no passo 3. Ainda, a duração da atuação dos sensores a_0 e b_1 é, respectivamente, menor que a duração dos comandos A^+ e A^- , portanto o comando do cilindro A é bidirecional e as equações que o definem são:

$$A^+ = a_0.S \quad e \quad A^- = b_1$$

A chave S com retenção, tem a função de iniciar ou parar, no passo 1, este processo automático. Observa-se também que o movimento A^* poderia ser definido pela equação: $A^+ = b_0.S$.

- B^+ e a_1 iniciam no passo 2 e B^- e b_1 iniciam no passo 3. Ainda, a duração da atuação do sensor a_1 é igual à duração do comando B^+ , portanto o comando do cilindro B é unidirecional, ou seja, ocorre uma simplificação no processo. A equação que define o movimento de B é:

$$B^+ = a_1$$

O retorno do cilindro B ocorrerá no final do tempo de atuação do sensor a_1 , isto é:

$$B^- = \overline{a_1}$$

A figura 8.13 mostra-nos o sistema eletropneumático, o conjunto de equações e o circuito elétrico de controle do dispositivo de curvar peças circulares.

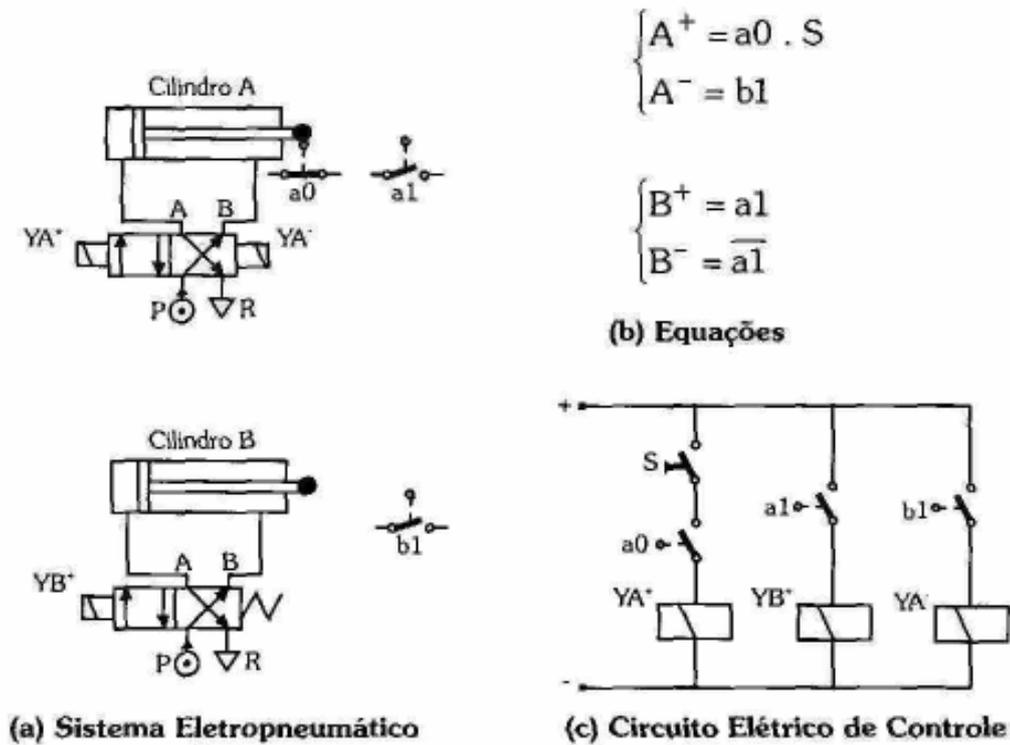


Figura 8.13 - Solução do Processo do Exemplo 2.

Exemplo 3: Dispositivo de Marcação de Peças

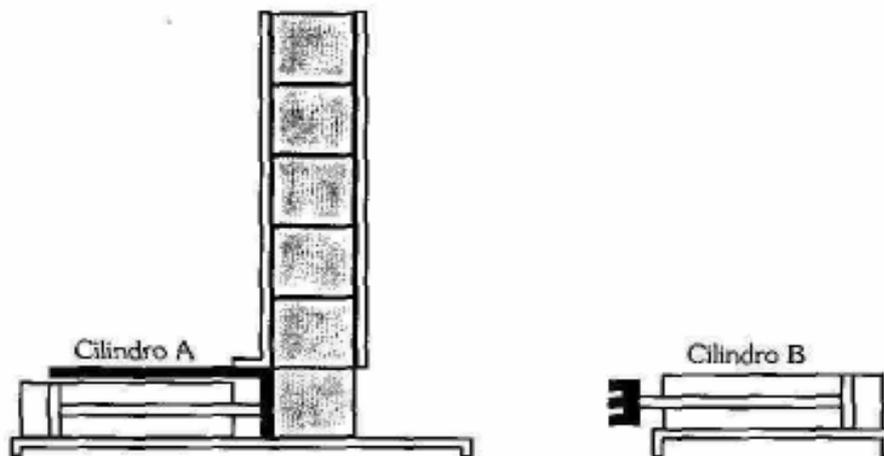
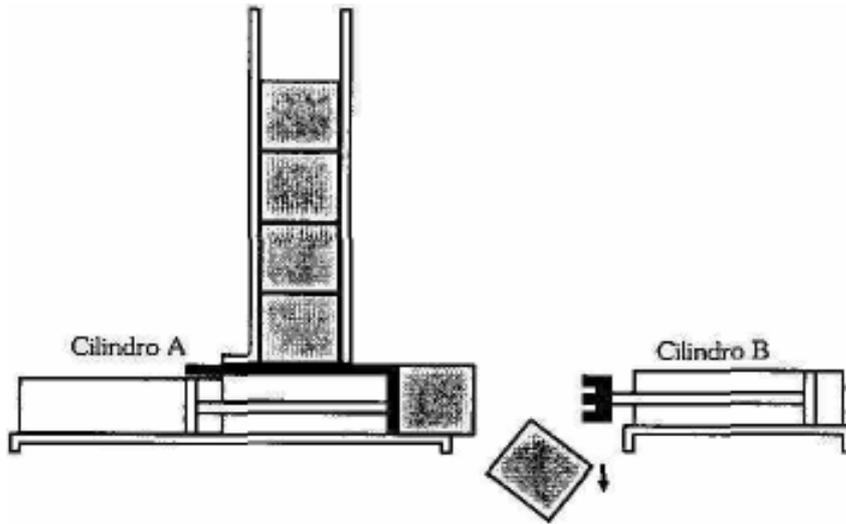
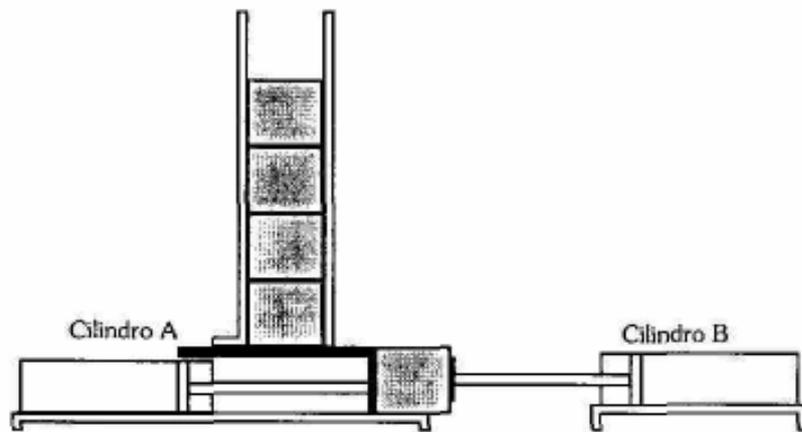


Figura 8.14 - Dispositivo para Marcação de Peças.

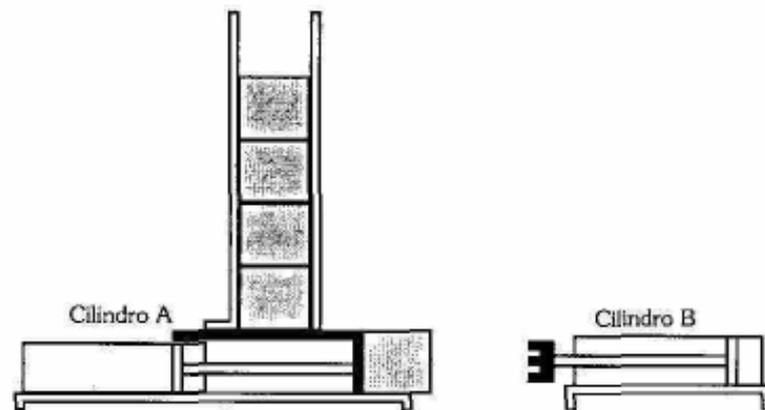
Os passos de funcionamento do dispositivo para marcar peças são vistos através do conjunto de desenhos representado pela figura 8.15.



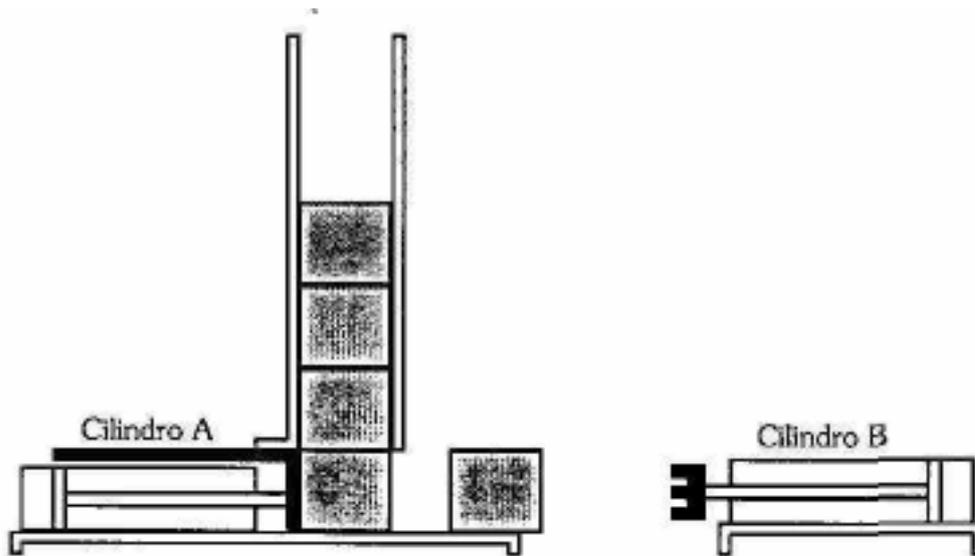
(a) Passo 1: Avanço do Cilindro A



(b) Passo 2: Avanço do Cilindro B



(c) Passo 3: Retorno do Cilindro B



(d) Passo 4: Retomo do Cilindro A

Figura 8.15 - Funcionamento do Exemplo 3.

Verificando o funcionamento do dispositivo de marcar peças, conclui-se que este processo automatizado possui a seqüência de operações e o diagrama trajeto-passo representado pela figura 8.16.

- Passo 1 => A+
- Passo 2 => B+
- Passo 3 => B-
- Passo 4 => A-

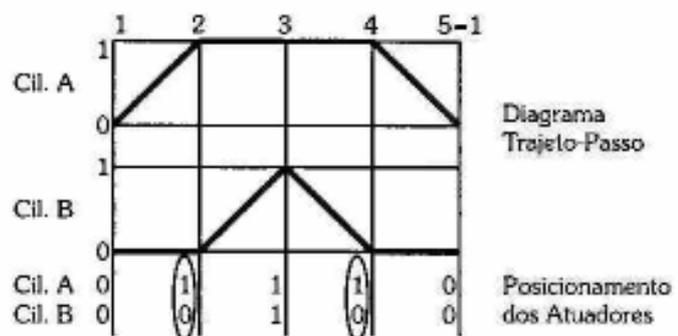


Figura 8.16 - Seqüência de Operações e Diagrama Trajeto-Passo do Exemplo 3.

Observa-se que os passos 2 e 4 possuem a mesma combinação (1,0) no posicionamento dos atuadores, mas os acionamentos gerados a partir de cada passo são diferentes. A partir do passo 2, temos o movimento B*, enquanto a partir do passo 4, temos o movimento A-. Conclui-se, então, que uma mesma combinação (1,0) produz acionamentos diferentes (B+ e A-). Este fato é indesejável, pois **combinações iguais** só devem gerar **acionamentos iguais**.

Necessitamos, então, diferenciar de alguma forma a combinação dos passos 2 e 4, já que não podemos alterar a seqüência dos acionamentos deste processo.

Inserir-se, para isso, um terceiro elemento (um relê) que irá diferenciar os passos 2 e 4. Este relê comporta-se como uma memória, encontrando-se acionado (1) no passo 2 e desacionado (0) no passo 4.

Este mecanismo modifica as combinações do passo 2 para (1, 0, 1), que é o avanço de B, e do passo 4 para (1, 0, 0), que é o retorno de A.

No método seqüencial, a bobina do relê exerce a função de um atuador, enquanto seus múltiplos contatos assumem a função de sensores, informando o estado do mesmo.

Consideremos:

- Bobina do relê desacionada (0 ou K^-)
 - Contatos NA abertos (desacionados)
 - Contatos NF fechados (acionados)

- Bobina do relê acionada (1 ou K^+)
 - Contatos NA fechados (acionados)
 - Contatos NF abertos (desacionados)

As mudanças de estado do relê **nunca** devem acontecer nos passos cujas combinações iniciais são **iguais** (no caso, os passos 2 e 4), devendo ocorrer sempre em **passos intermediários**. Neste processo, portanto, as comutações do relê devem acontecer no passo 1 (0 -> 1) e no passo 3 (1 -> 0).

As comutações de relês no diagrama trajeto-passo são representadas em forma de **degrau**, pois são praticamente instantâneas. Quanto ao acionamento e desacionamento dos relês, eles serão definidos pelo método seqüencial.

Finalmente, a figura 8.17 mostra-nos todos os diagramas do exemplo 3.

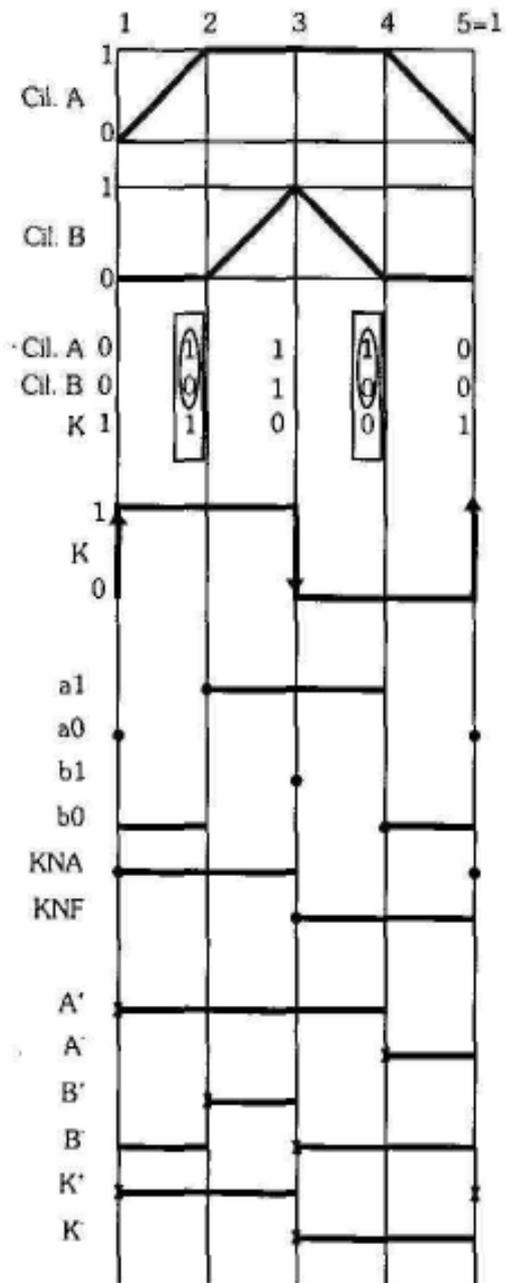


Figura 8.17 - Diagramas do Método Seqüencial para o Exemplo 3.

Analisando os diagramas da figura 8.17, conclui-se que:

- As equações do avanço e do retorno de A são, respectivamente:

$$A^+ = a_0.S = KNA.S \quad e \quad A^- = b_0.KNF$$

Tanto o sensor a0 como o contato do relé KNA têm condições para comandar o avanço do cilindro A (A+), porém é mais racional e econômico comandar os atuadores usando contatos de relês do que usando sensores elétricos.

Quanto ao retorno de A, observa-se que A e b0 começam no passo 4, mas a duração da atuação do sensor b0 é **maior** que a duração do comando A, portanto a situação é **inadequada**.

A solução consiste em realizar uma associação série, **lógica E**, entre o sensor b0 e o contato do relé KNF. Verifica-se, então, que o comando A e a atuação b0.KNF possuem a mesma duração. Neste caso, o comando do cilindro é **unidirecional**, isto é, o retorno de A será executado quando for energizado o solenóide.

Como o movimento de avanço de A é o primeiro do ciclo, teremos um inconveniente, ou seja, somente com a energia pneumática o cilindro estará avançado.

Usaremos, então, uma transformação do comando elétrico de retorno de A para o

avanço de A, isto é: $A+ = \overline{A-}$

$$A- = b0.KNF \Rightarrow A+ = \overline{b0.KNF} = \overline{b0} + \overline{KNF} \Rightarrow A+ = \overline{b0} + KNA$$

Considerando a chave S como a que aciona o sistema, teremos, finalmente, as seguintes equações para o avanço e o retorno de A:

$$A+ = (\overline{b0} + KNA).S \quad \text{e} \quad A- = b0.KNF$$

- As equações do avanço e retorno de B são, respectivamente:

$$B+ = a1.KNA \quad \text{e} \quad B- = b1$$

Como, o comando B+ e a atuação a1. KNA possuem a mesma duração, o acionamento será **unidirecional** através das equações:

$$B+ = a1.KNA \quad \text{e} \quad B- = \overline{a1.KNA}$$

- K+ e a0 iniciam no passo 1 e K- e b1 iniciam no passo 3. Ainda, a duração da atuação dos sensores a0 e b1 é, respectivamente, **menor** que a duração dos comandos K+ e K-.

Sabemos que o comando do relé K é sempre unidirecional e, portanto, devemos memorizar a atuação do sensor a0 (acionamento do relé) através do contato K, normalmente aberto, até o instante de atuação do sensor normalmente fechado b1 (desacionamento do relé).

Juntando as equações, obtemos a solução do exemplo 3 apresentada pela figura 8.18.

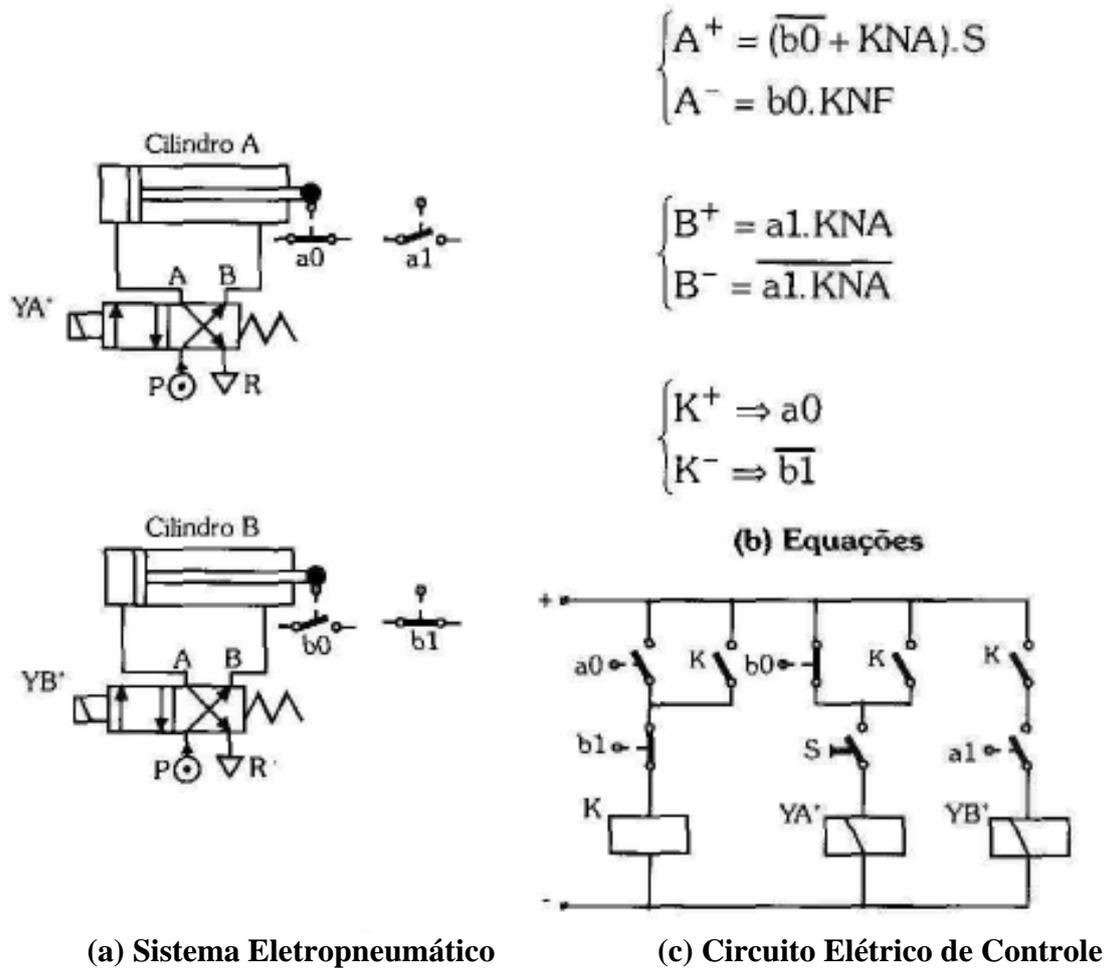


Figura 8.18 - Solução do Processo do Exemplo 3.

Exemplo 4: Dispositivo de Dosagem e Enchimento

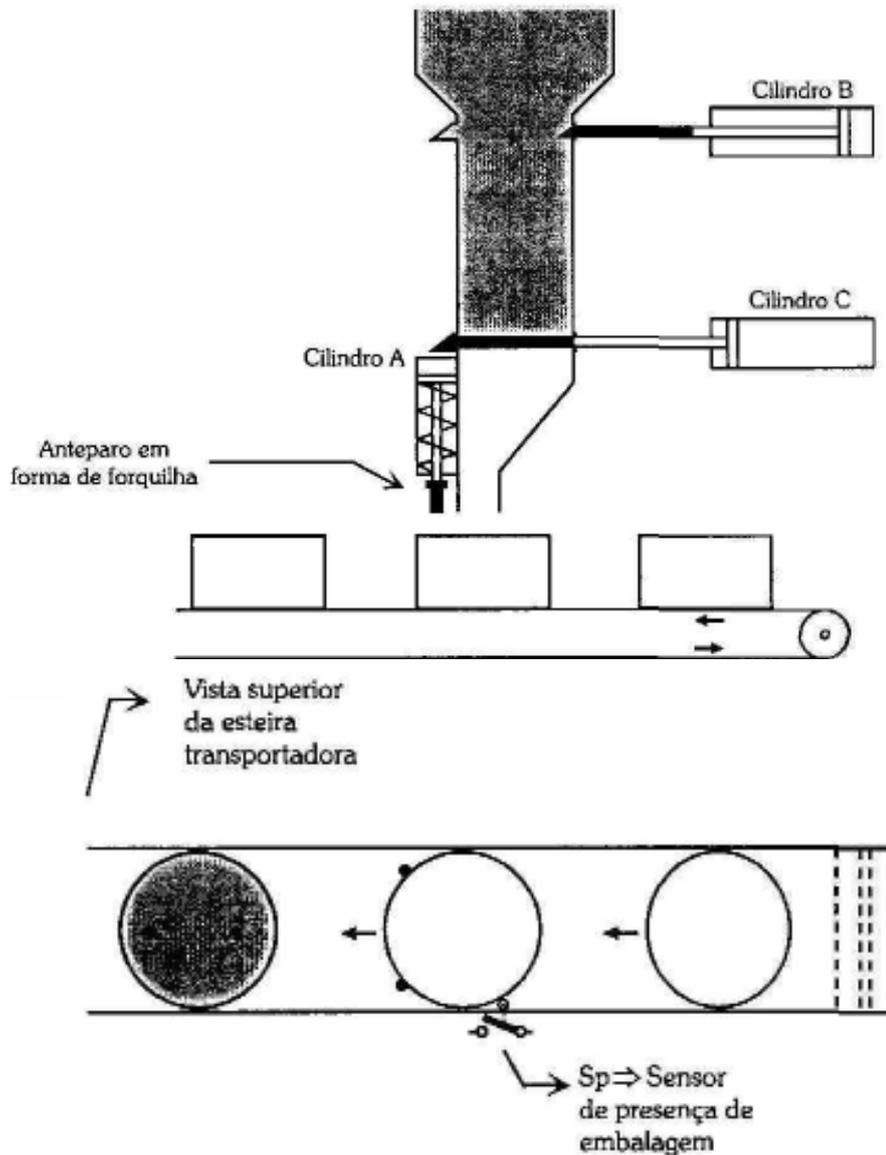


Figura 8.19 - Dispositivo de Dosagem e Enchimento de Embalagens.

Analisando o funcionamento do dispositivo de dosagem e enchimento de embalagens, chega-se à conclusão de que este processo automatizado possui o diagrama trajeto-passo, o diagrama de atuação dos sensores e o diagrama de comando dos atuadores representados na figura 8.20.

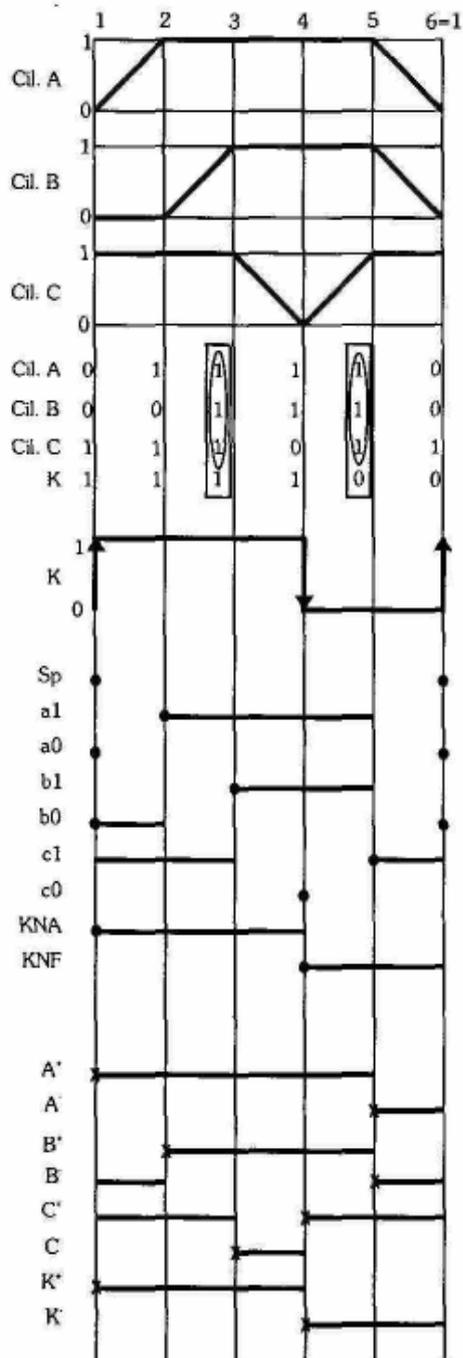


Figura 8.20 - Diagramas do Método Seqüencial para o Exemplo 4.

Verifica-se que os passos 3 e 5 possuem a mesma combinação (1,1,1) no posicionamento dos atuadores. Insere-se, portanto, um relê para diferenciar a combinação destes passos, ou seja, o passo 3 passa a ser (1, 1, 1) e o passo 5 passa a ser (1,1,1,0).

Observe na figura 8.20, que existem duas possibilidades de realizar o comando de relê K. A primeira possibilidade é acionar o relê no passo 1 e desacionar no passo 4; a segunda possibilidade é acionar o relê no passo 2 e desacionar no passo 4.

A primeira possibilidade é mais viável em virtude da atuação do sensor a0 ser somente no passo 1, enquanto na segunda possibilidade, o tempo de atuação do sensor ai é muito grande, isto é, ocorre do passo 2 ao passo 5, o que torna mais complicado o comando.

Analisando os diagramas da figura 8.20, chega-se às seguintes conclusões:

- O comando do cilindro A é unidirecional (semelhante ao do exemplo 3), através das equações:

$$A^+ = \overline{c1} + KNA \cdot S \quad \text{e} \quad A^- = c1 \cdot KNF$$

- O comando do cilindro B é unidirecional no avanço, através das equações:

$$B^+ = ai \quad \text{e} \quad B^- = \overline{a1}$$

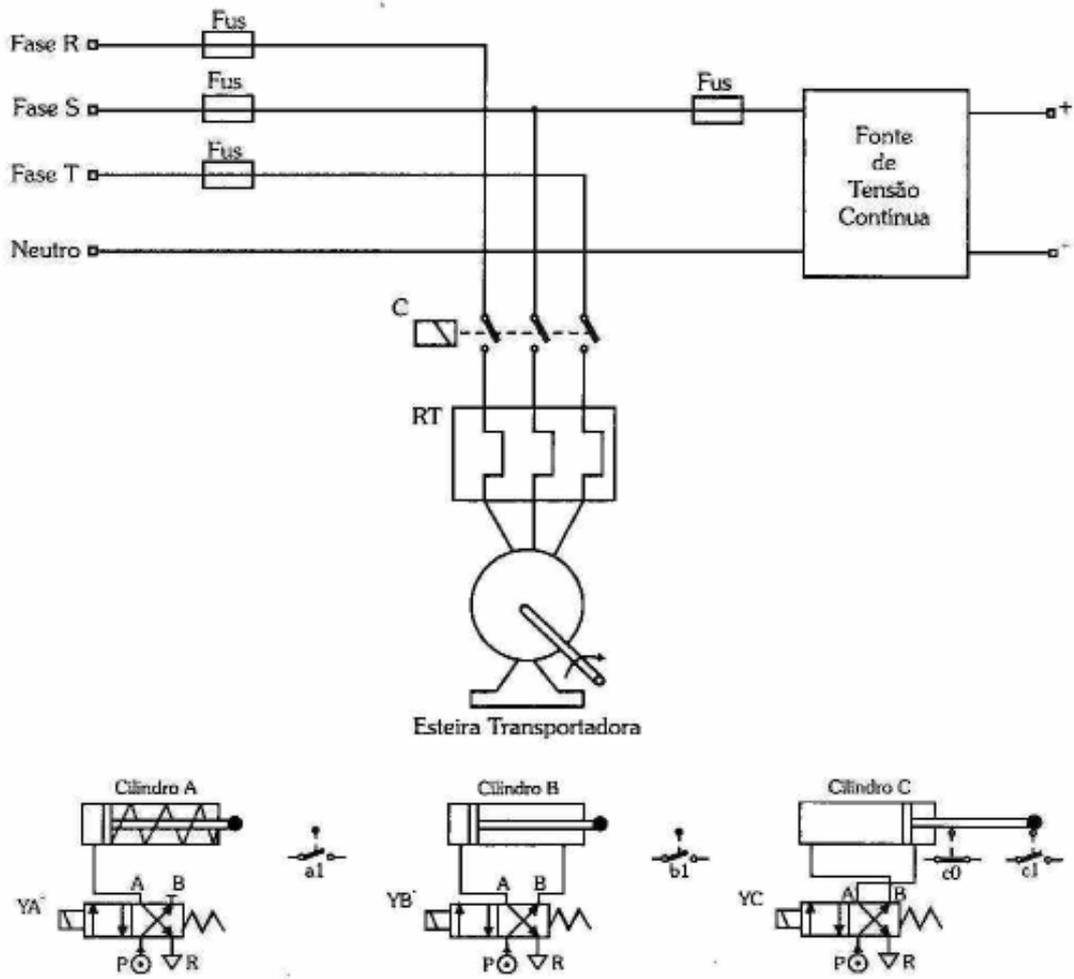
- O cilindro C é normalmente avançado, e seu comando é unidirecional no retorno, através das equações:

$$C^+ = \overline{b1 \cdot KNA} \quad \text{e} \quad C^- = b1 \cdot KNA$$

- O comando do relê K é:

$$K^+ \Rightarrow Sp \quad \text{e} \quad K^- \Rightarrow \overline{c0}$$

O motor elétrico da esteira transportadora deste exemplo é de indução trifásico, acionado pela chave S (liga/desliga). A figura 8.21 mostra o sistema elétrico e pneumático juntamente com o circuito de controle completo do dispositivo de dosagem e enchimento de embalagens.



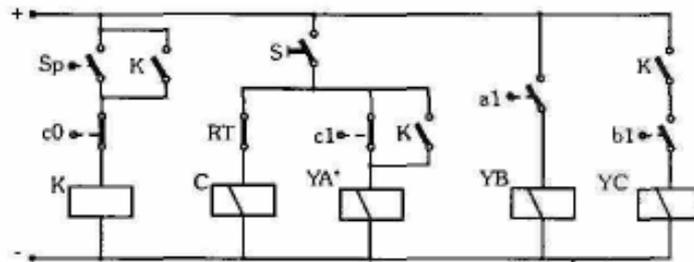
(a) Sistema Elétrico e Pneumático

$$\begin{cases} A^+ = (\overline{c1} + KNA).S \\ A^- = c1.KNF \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a1 \\ B^- = \overline{a1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} C^+ = \overline{b1}.KNA \\ C^- = b1.KNA \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow Sp \\ K^- \Rightarrow \overline{c0} \end{cases}$$



(b) Equações

(c) Circuito Elétrico de Controle Completo

Figura 8.21 - Solução do Processo do Exemplo 4.

Exemplo 5: Dispositivo de Furacão de Peças

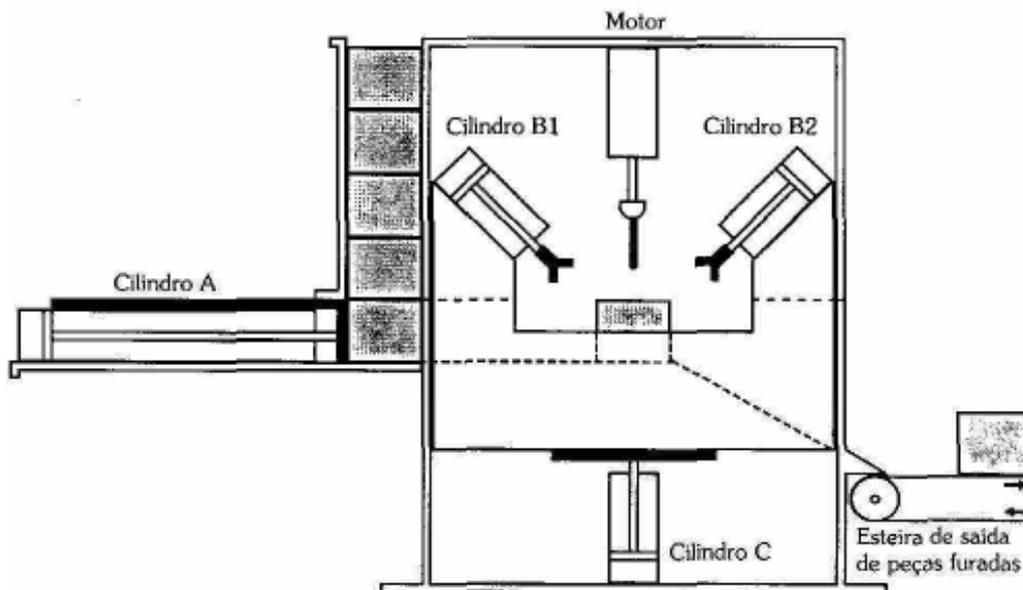


Figura 8.22 - Dispositivo de Furacão de Peças.

A figura 8.23 mostra-nos os diagramas do método seqüencial extraídos da análise do funcionamento do dispositivo de furacão da figura de peças.

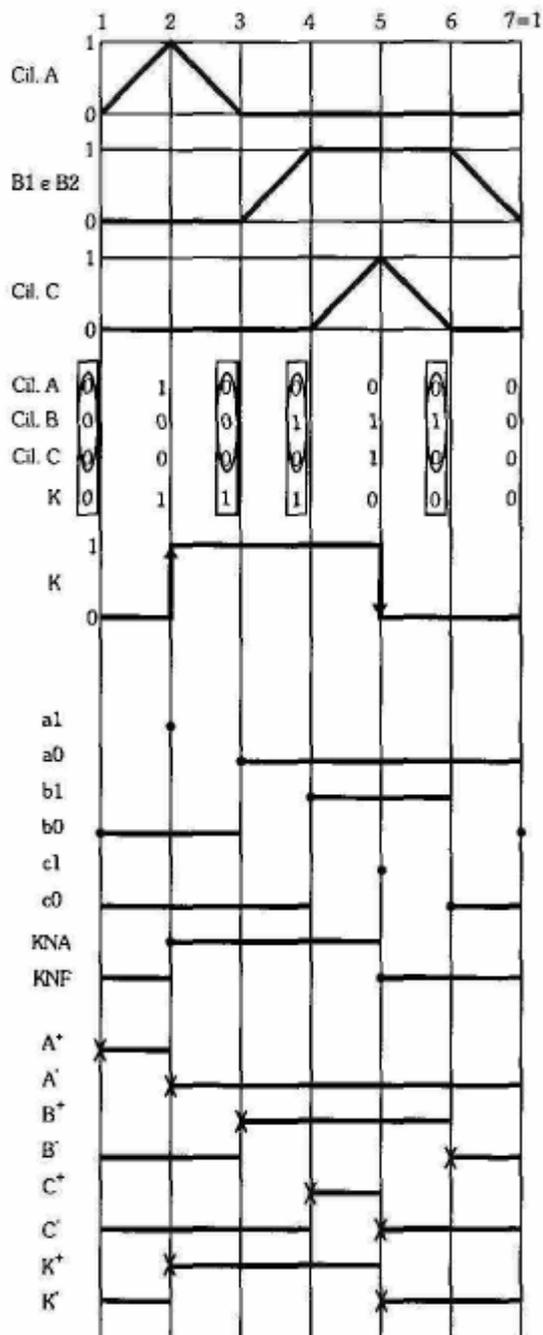


Figura 8.23 - Diagramas do Método Seqüencial para o Exemplo 5.

No posicionamento dos atuadores, há dois pares de combinações iguais: nos passos 1 e 3 temos a combinação (0,0,0) e nos passos 4 e 6 temos a combinação (0, 1 ,0).

A princípio, usaríamos dois relês para diferenciar os dois pares de combinações iguais. Verifica-se, entretanto, que apenas um relê acionado no passo 2 e desacionado no passo 5 é suficiente para diferenciar estes dois pares de combinações.

Conseqüentemente o passo 1 passa a ter a combinação (0,0,0,0), o passo 3 (0,0,0,1), o passo 4 (0,1,0,1) e o passo 6 (0,1,0,0).

Nesta primeira abordagem do dispositivo de furacão, utilizamos motores de indução trifásicos para realizarem a furacão e o transporte de peças, sendo acionados pela chave S (liga-desliga) deste dispositivo.

Analisando-se os diagramas da figura 8.23, concluí-se que:

- O comando do cilindro A é unidirecional no avanço, através das equações:

$$A^+ = b0.KNF.S \quad e \quad A^- = \overline{b0.KNF}$$

O comando do cilindro B é bidirecional, através das equações:

$$B^+ = a0.KNA \quad e \quad B^- = c0.KNF$$

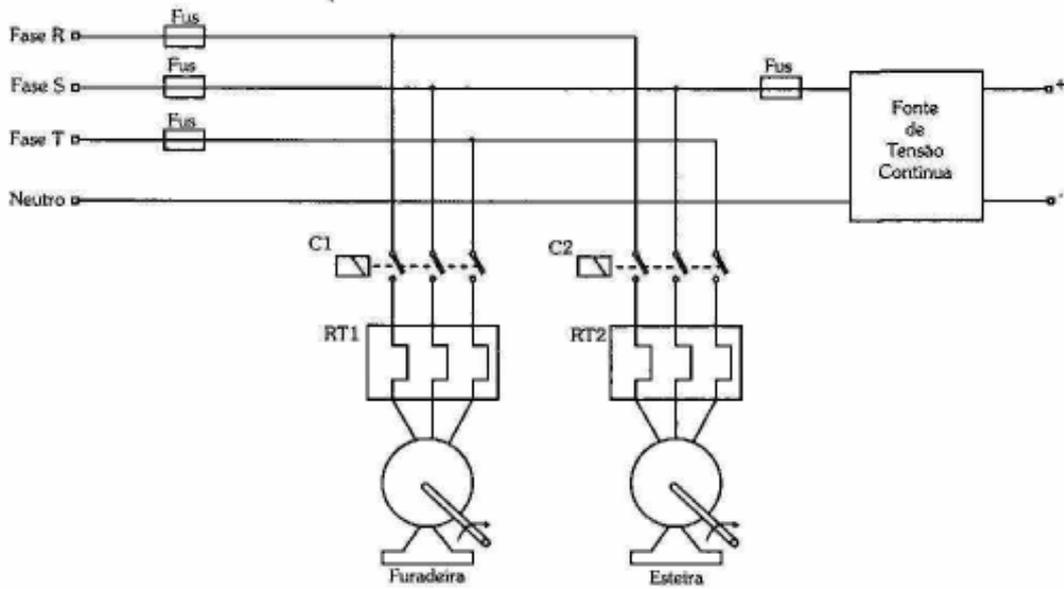
O comando do cilindro C é unidirecional no avanço, através das equações:

$$C^+ = b1.KNA \quad e \quad C^- = \overline{b1.KNA}$$

- O comando do relé K é:

$$K^+ \Rightarrow a1 \quad e \quad K^- \Rightarrow \overline{c1}$$

A figura 8.24 mostra-nos a solução completa para a primeira abordagem do dispositivo de furacão.



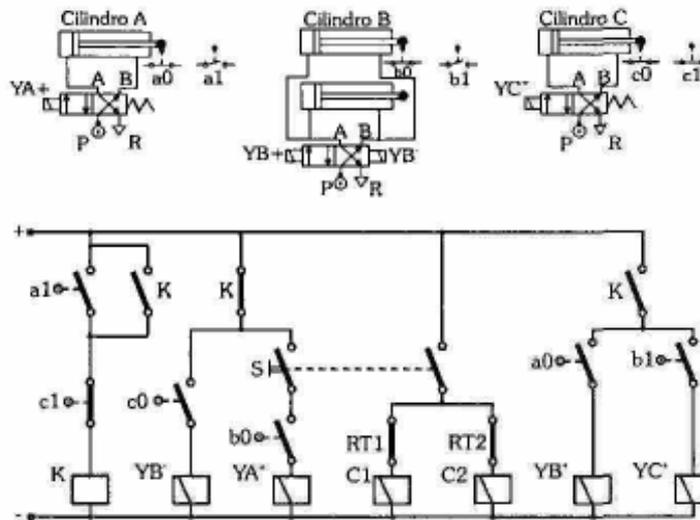
(a) Sistema Elétrico e Pneumático

$$\begin{cases} A^+ = b0.KNF.S \\ A^- = \overline{b0.KNF} \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a0.KNA \\ B^- = c0.KNF \end{cases}$$

$$\begin{cases} C^+ = b1.KNA \\ C^- = \overline{b1.KNA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow a1 \\ K^- \Rightarrow \overline{c1} \end{cases}$$



(b) Equações

(c) Circuito Elétrico de Controle Completo

Figura 8.24 - Solução do Processo do Exemplo 5 - Primeira Abordagem.

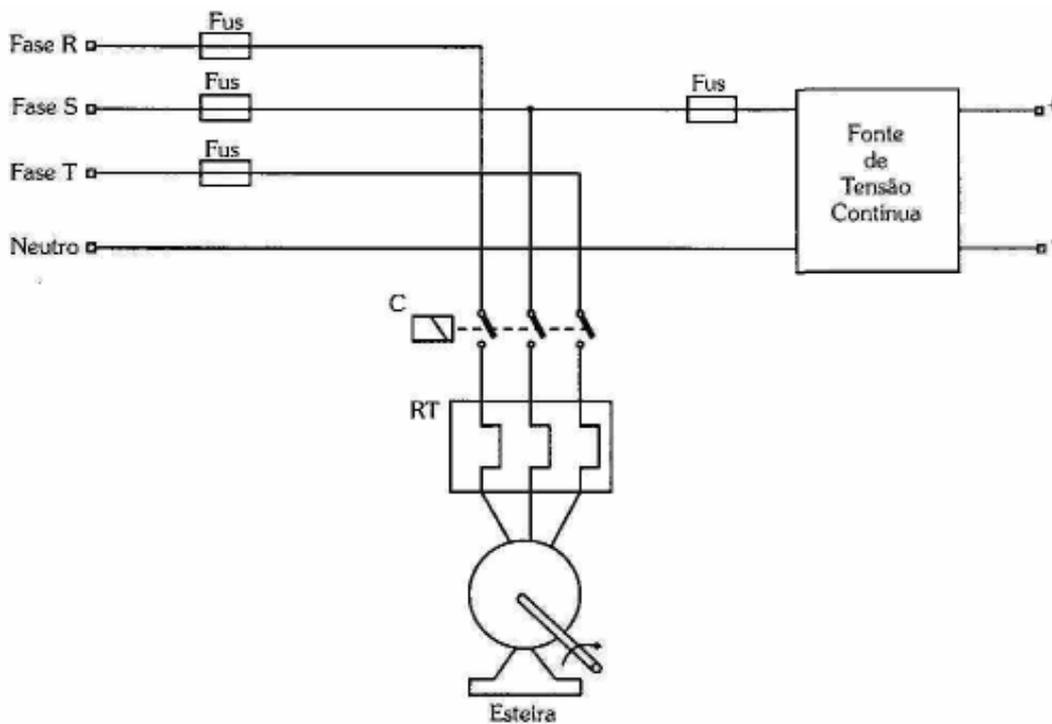
Supondo-se agora, numa segunda e última abordagem, a troca do motor elétrico da furadeira por um motor pneumático com um único sentido de rotação, de acionamento intermitente, faremos a análise e as alterações necessárias para esta possibilidade.

Analisando o diagrama trajeto-passo da figura 8.23, chega-se à conclusão de que, em virtude de um melhor aproveitamento em termos económicos da energia pneumática, o motor deve ser ligado no passo 4 e desligado no passo 6. Observa-se nesta mesma figura, que o sensor b1 também é acionado no passo 4 e desacionado no passo 6.

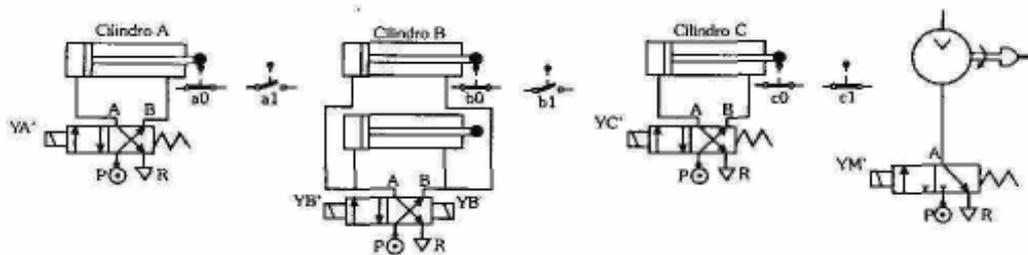
Então, o acionamento do motor pneumático é unidirecional através das seguintes equações:

$$M + = b1 \quad e \quad M - = b1$$

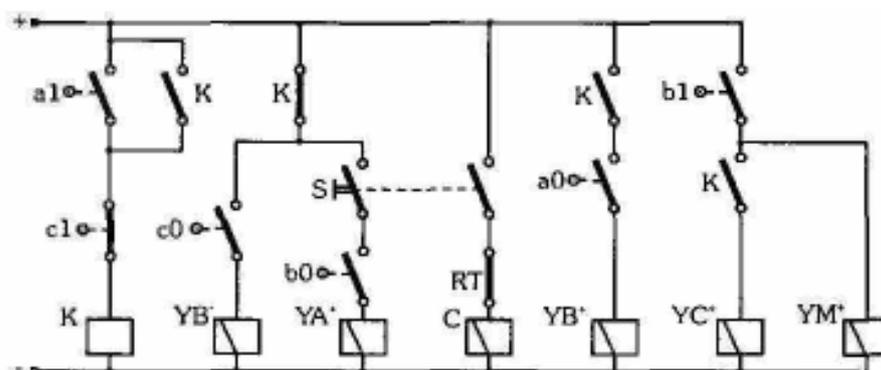
A figura 8.25 mostra-nos a solução completa para a segunda abordagem do dispositivo de furacão.



(a) Sistema Elétrico



(b) Sistema Pneumático



(b) Circuito Elétrico de Controle Completo

Figura 8.25 - Solução do Processo do Exemplo 5 - Segunda Abordagem.

Exemplo 6: Dispositivo de Fazer Cantoneiras

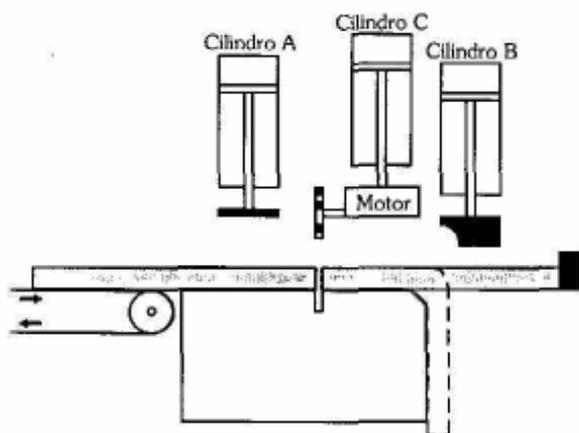


Figura 8.26 - Dispositivo de Fazer Cantoneiras.

Observando o funcionamento do dispositivo de fazer cantoneiras, conclui-se que o processo automatizado em questão possui os diagramas do método sequencial representados pela figura 8.27.

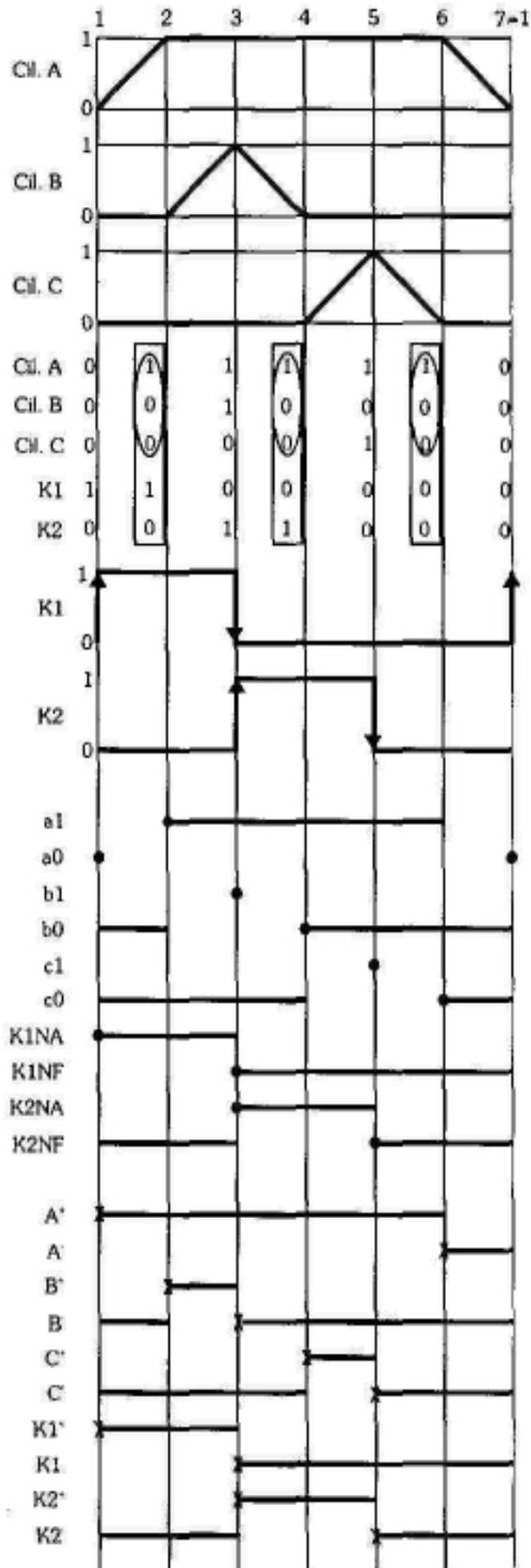


Figura 8.27 - Diagramas do Método Seqüencial para o Exemplo 6.

Neste exemplo, serão utilizados motores elétricos de indução trifásicos para realizarem o corte e o transporte da tala de metal, sendo acionados pela chave S (liga/desliga), de forma idêntica ao exemplo 5 na primeira abordagem.

Analisando o posicionamento dos atuadores, verifica-se que os passos 2, 4 e 6 possuem a mesma combinação (1,0,0).

Sabe-se que um relê consegue diferenciar apenas dois passos que possuem a mesma combinação, portanto para diferenciar três ou quatro passos com a mesma combinação, necessitaremos de dois relés, isto é, K1 e K2.

Existem várias possibilidades de realizar o comando dos relés K1 e K2. Optamos por realizar o comando dos relés de acordo com a figura 8.27. Desta forma, os passos 2, 4 e 6 ficam diferenciados pelas seguintes combinações: passo 2 (1,0,0,1,0), passo 4 (1,0,0,0,1) e passo 6 (1,0,0,0,0).

Finalmente, analisando os diagramas do exemplo 6, chegamos às seguintes conclusões:

- O comando do cilindro A é unidirecional (semelhante ao exemplo 3), através das equações:

$$A^+ = (\overline{c0} + K1NA + K2NA).S \quad e \quad A^- = c0.K1NF.K2NF$$

- O comando do cilindro B é unidirecional no avanço, através das equações:

$$B^+ = a1.K1NA \quad e \quad B^- = \overline{a1.K1NA}$$

- O comando do cilindro C é também unidirecional no avanço, através das equações:

$$C^+ = b0.K2NA \quad e \quad C^- = \overline{b0.K2NA}$$

- O comando do relé K1 é:

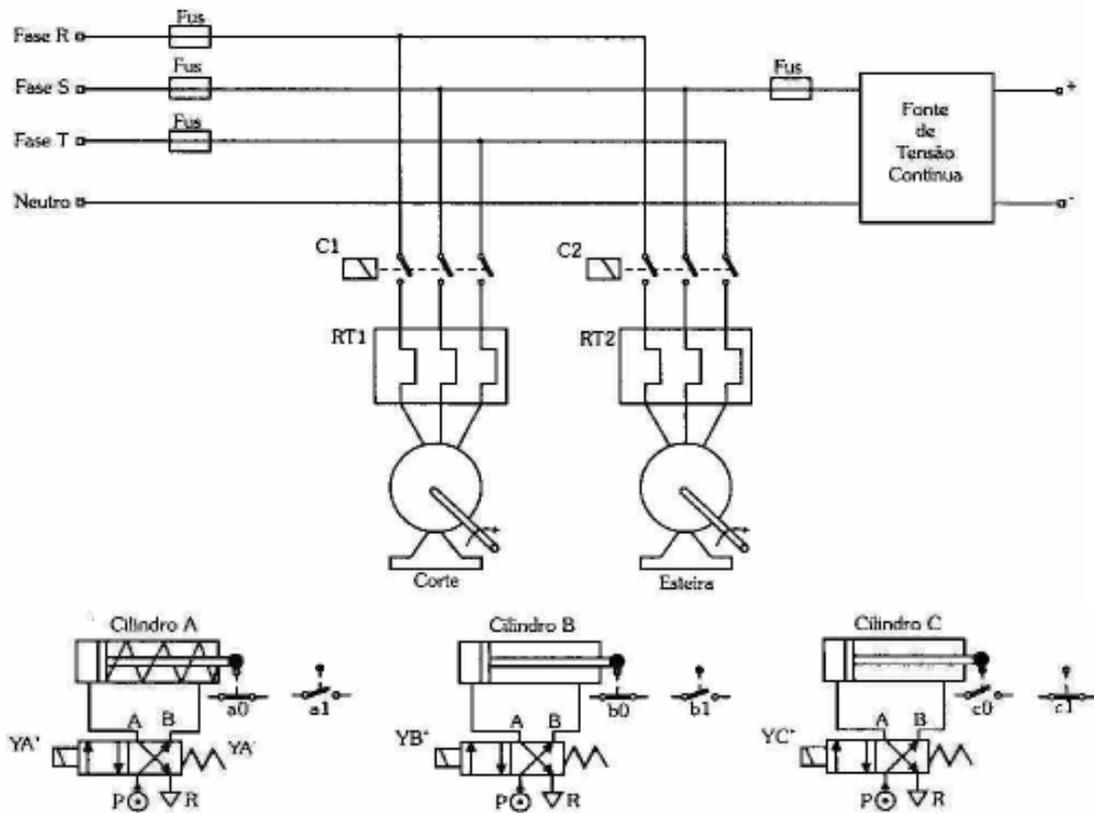
$$K1^+ = +a0 \quad e \quad K1^- = \overline{b1} \quad (\text{"b1" barrado})$$

- O comando do relé K2 é:

$$K2^+ = \overline{b1} \quad e \quad K2^- = c1 \quad (\text{"c1" barrado})$$

Observe que o acionamento de K2 implica no desacionamento de K1, portanto, o desacionamento de K1 pode ser realizado pelo contato normalmente fechado de K2, isto é:

K1- => K2NF



(a) Sistema Elétrico e Pneumático

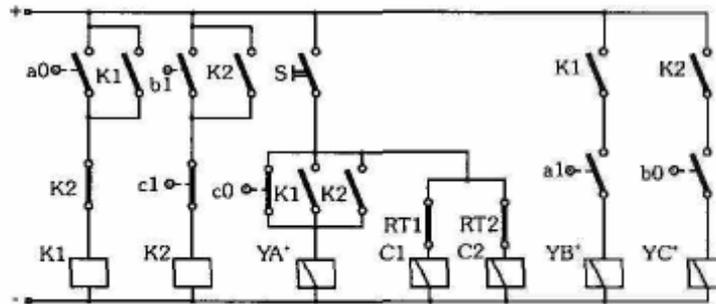
$$\begin{cases} A^+ = (\overline{c0} + K1NA + K2NA).S \\ A^- = c0.K1NF.K2NF \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a1.K1NA \\ B^- = \overline{a1.K1NA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} C^+ = b0.K2NA \\ C^- = \overline{b0.K2NA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K1^+ \Rightarrow a0 \\ K1^- \Rightarrow K2NF \end{cases}$$

$$\begin{cases} K2^+ \Rightarrow b1 \\ K2^- \Rightarrow \overline{c1} \end{cases}$$



(b) Equações

(c) Circuito Elétrico de Controle Completo

Figura 8.28 - Solução do Processo do Exemplo 6.

Exemplo 7: Dispositivo de Encaixar Peças

122

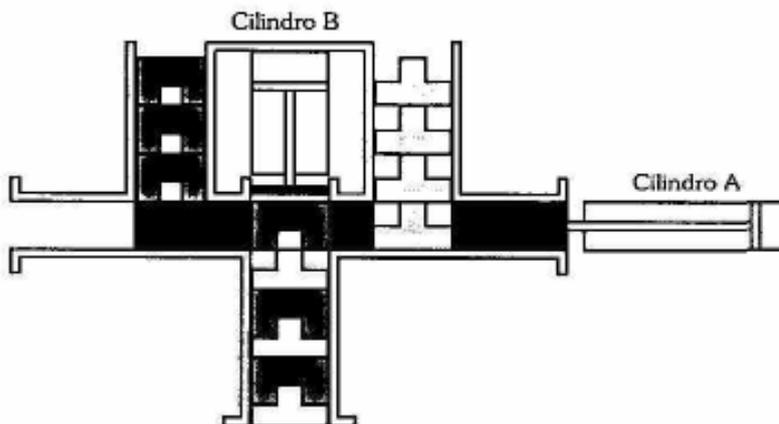


Figura 8.29 - Dispositivo de Encaixar Peças.

A figura 8.30 mostra-nos os diagramas do método seqüencial obtidos através da análise do funcionamento do dispositivo de encaixar peças.

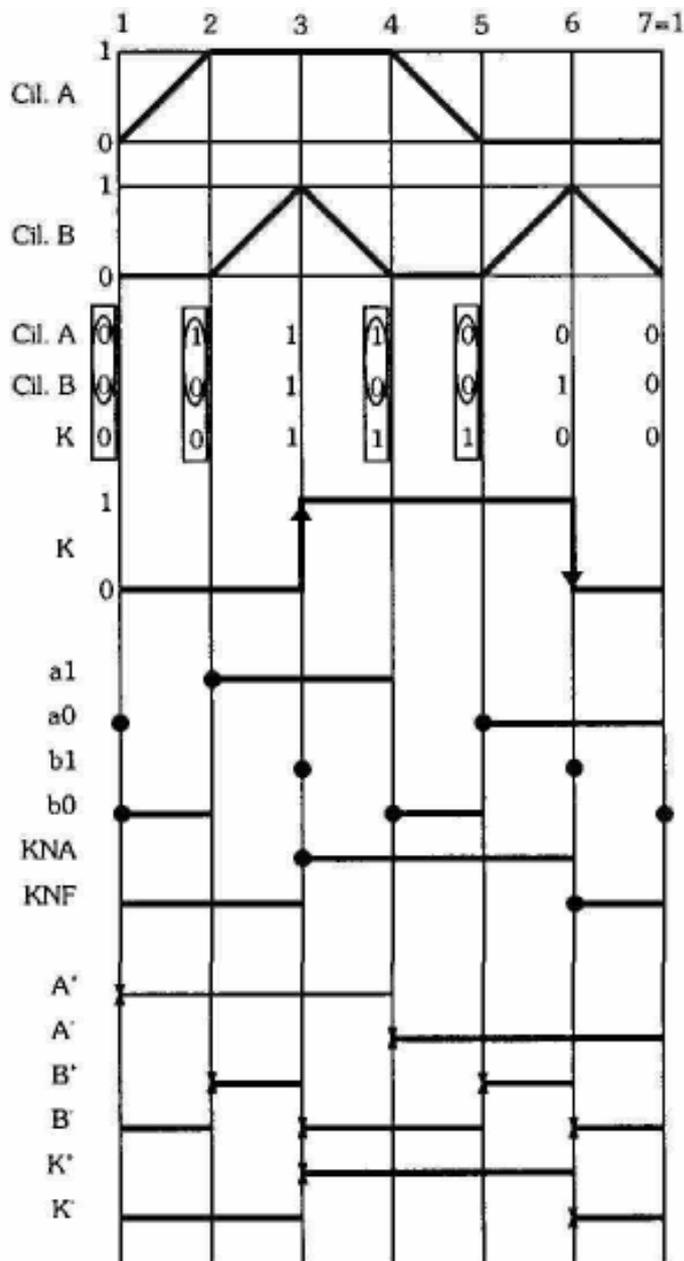


Figura 8.30 - Diagramas do Método Seqüencial para o Exemplo.

Observa-se no posicionamento dos atuadores, a existência de dois pares de combinações iguais: os passos 1 e 5 com a combinação (0,0) e os passos 2 e 4 com a combinação (1,0).

Pode-se, portanto, utilizar apenas um relé, que será acionado no passo 3 e desacionado no passo 6, para diferenciar estes dois pares de combinações. Com isso teremos as seguintes combinações: passo 1 (0,0,0), passo 5 (0,0,1), passo 2 (1,0,0) e passo 4 (1,0,1).

Analisando os diagramas de atuação dos sensores e o de comando dos atuadores, chega-se às seguintes conclusões:

- O comando do cilindro A é bidirecional, através das equações:

$$A+ = b0.KNF.S \quad e \quad A- = b0.KNA$$

- No passo 2, a equação do avanço do cilindro B é: $B^* = a1 .KNF$. No passo 5, a equação do avanço deste cilindro é: $B+ = a0.KNA$. Observe que em ambos os comandos de avanço do cilindro B, as atuações de $a1 .KNF$ e $a0.KNA$ possuem a mesma duração. Então, o comando do cilindro B é unidirecional, através da lógica OU entre estas equações, resultando em:

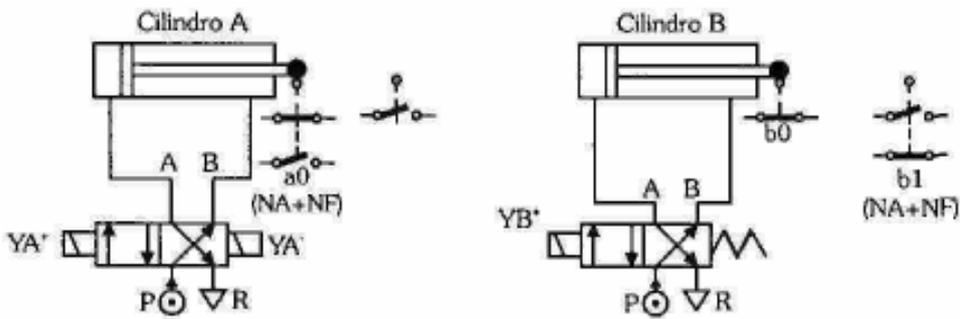
$$B+ = a1. KNF + a0.KNA$$

- Observe que os comandos de avanço e retorno de K não podem ser executados pelo mesmo sensor b1. Precisamos, então, associar b1 a outros sensores, de modo que as equações de acionamento e desacionamento do relé K sejam distintas. Portanto, o acionamento do relé K ocorrerá somente quando o sensor b1 for acionado e o seu desacionamento ocorrerá somente quando os sensores a0 e b1 forem acionados, isto é:

$$K^+ \Rightarrow b1 \quad e \quad K^- \Rightarrow \overline{a0} + \overline{b1}$$

Nota-se, através das equações, a utilização de um mesmo sensor em duas equações distintas. Existem duas soluções para este tipo de problema. A primeira seria a utilização de sensores com contatos múltiplos, e a segunda seria a utilização de sensores com um único contato NA acionando relês auxiliares. Os contatos destes relês teriam o mesmo efeito que a atuação dos sensores em questão.

As figuras 8.31 e 8.32 mostram-nos as duas soluções do exemplo 7 abordadas no parágrafo anterior.

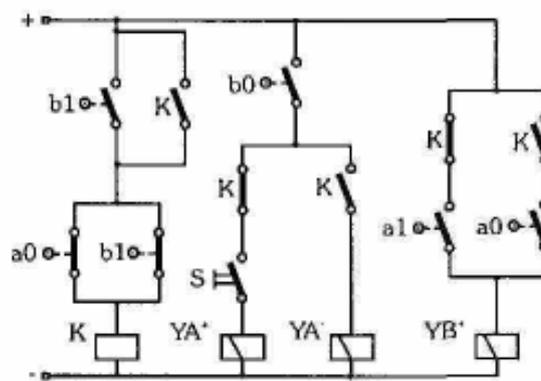


(a) Sistema Eletropneumático

$$\begin{cases} A^+ = b0.KNF.S \\ A^- = b0.KNA \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a1.KNF + a0.KNA \\ B^- = \overline{a1.KNF + a0.KNA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow b1 \\ K^- \Rightarrow \overline{a0 + b1} \end{cases}$$

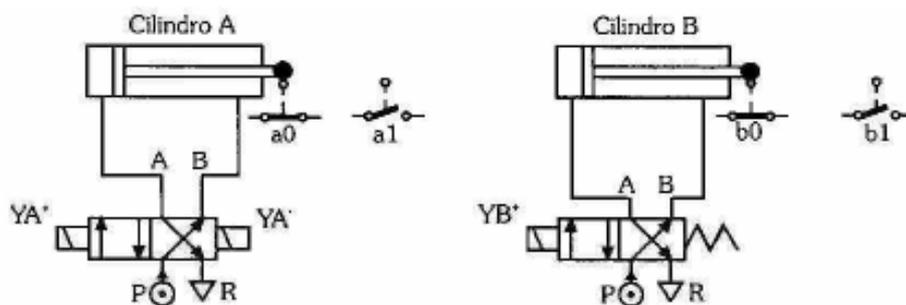


(b) Equações

(c) Circuito Elétrico de Controle

Completo

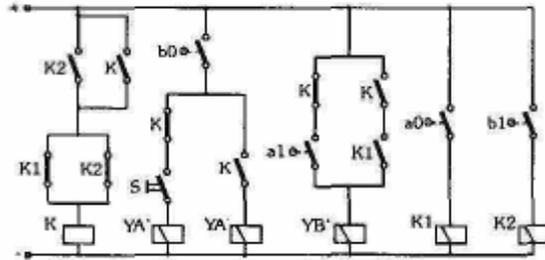
Figura 8.31 - Solução do Exemplo 7 com Sensores de Múltiplos Contatos.



$$\begin{cases} A^+ = b_0.KNF.S \\ A^- = b_0.KNA \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a_1.KNF + K1NA.KNA \\ B^- = \overline{a_1.KNF + K1NA.KNA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow K2NA \\ K^- \Rightarrow \overline{K1NF + K2NF} \end{cases}$$



(b) Equações

(c) Circuito Elétrico de Controle

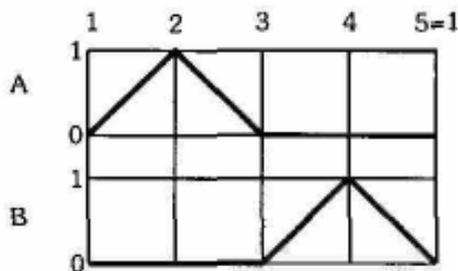
Completo

Figura 8.32 - Solução do Exemplo 7 com Relês Auxiliares.

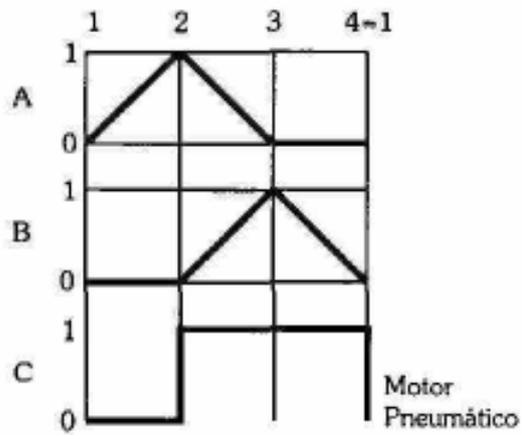
Exercícios Propostos

Determine o conjunto de equações, o sistema eletropneumático e o circuito de controle dos diversos processos automatizados, representados pêlos seus respectivos diagramas trajeto-passo a seguir:

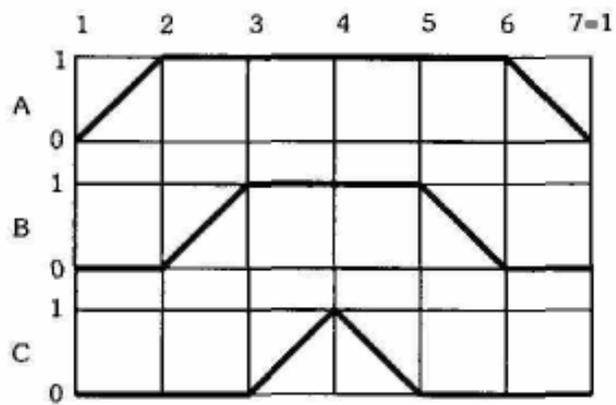
8.1- Processo Automatizado 1



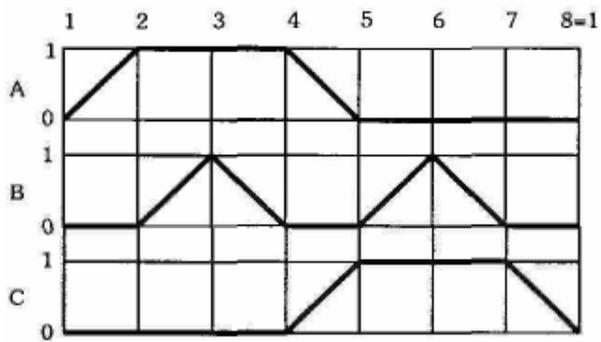
8.2- Processo Automatizado 2



8.3- Processo Automatizado 3



8.4- Processo Automatizado 4



Apêndice - Respostas dos Exercícios Propostos

Neste apêndice, constam apenas as respostas dos exercícios propostos nos capítulos 7 e 8, já que nos capítulos anteriores, são apresentadas apenas questões conceituais.

Capítulo 7

7.1

- a) Função lógica: $Y = (S1 + S2) \cdot S3$
b)

A tabela-verdade é:

S1	S2	S3	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

c) Função lógica: $Y = (S1 \cdot S2) + S3$

A tabela-verdade é:

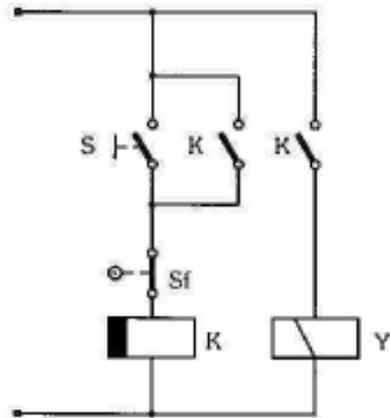
S1	S2	S3	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

c) Função lógica: $K = (S1 + K) \cdot S2$

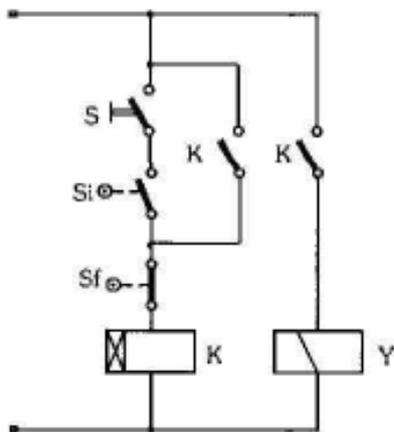
A tabela- verdade é:

S1	S2	K
0	0	Estado Anterior
0	1	0
1	0	1
1	1	0

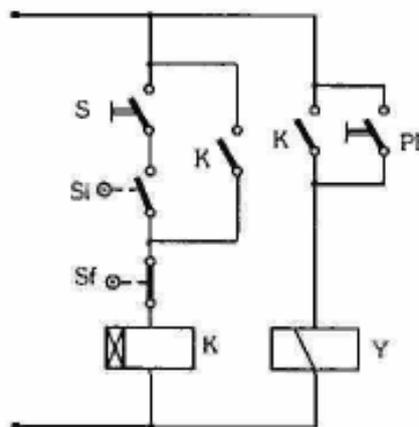
7.2

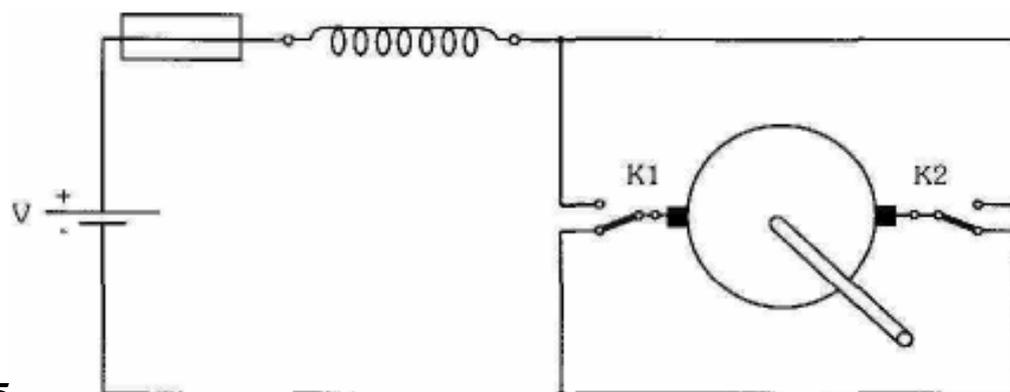


7.3

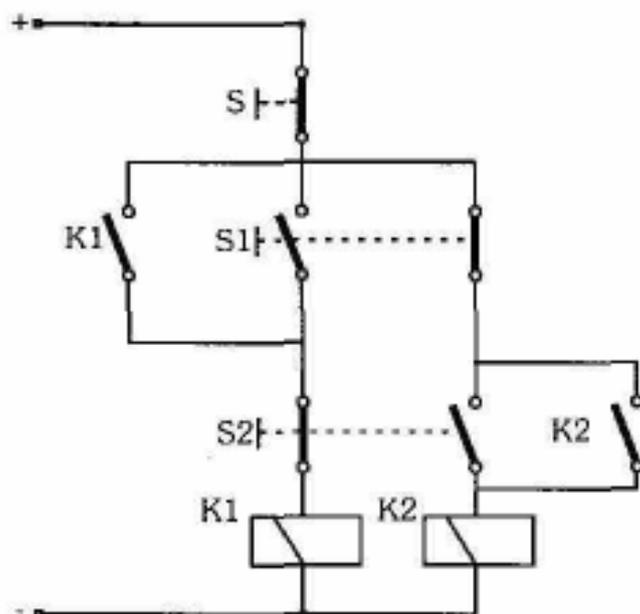


7.4



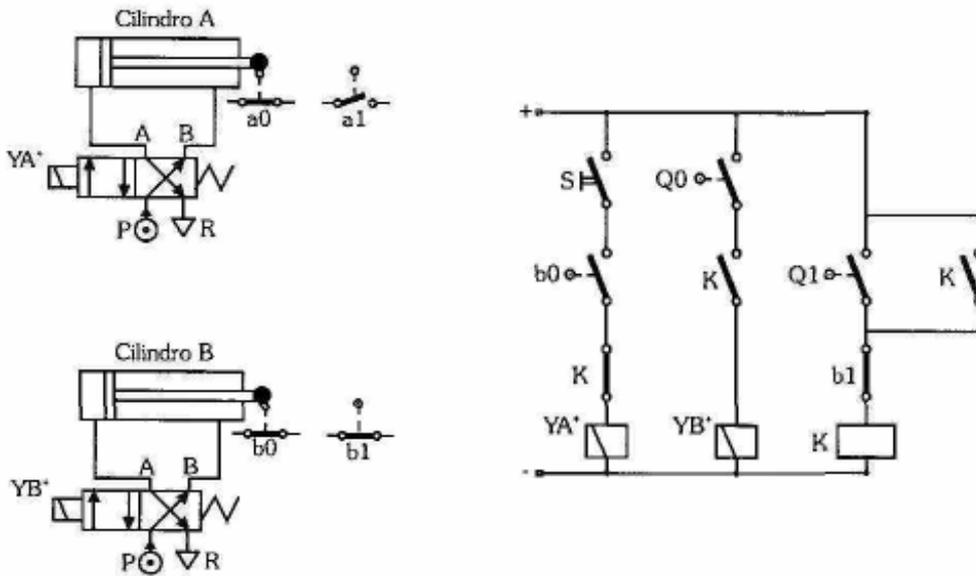


7.5



Capítulo 8

8.1- Processo Automatizado I



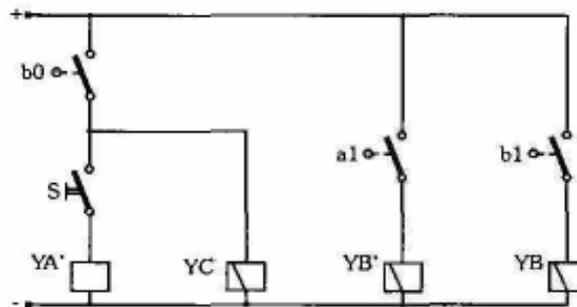
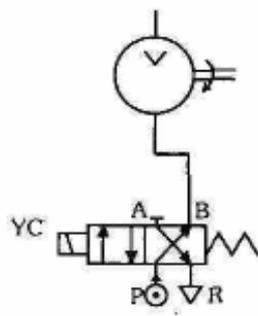
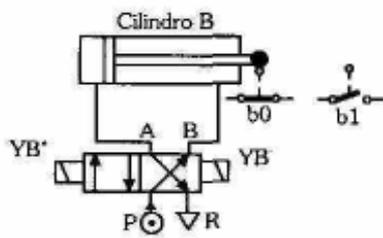
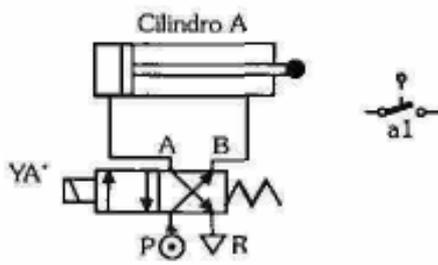
Equações:

$$\begin{cases} A^+ = b0.KNF.S \\ A^- = \overline{b0.KNF} \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a0.KNA \\ B^- = \overline{a0.KNA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow a1 \\ K^- \Rightarrow \overline{b1} \end{cases}$$

8.2- Processo Automatizado 2



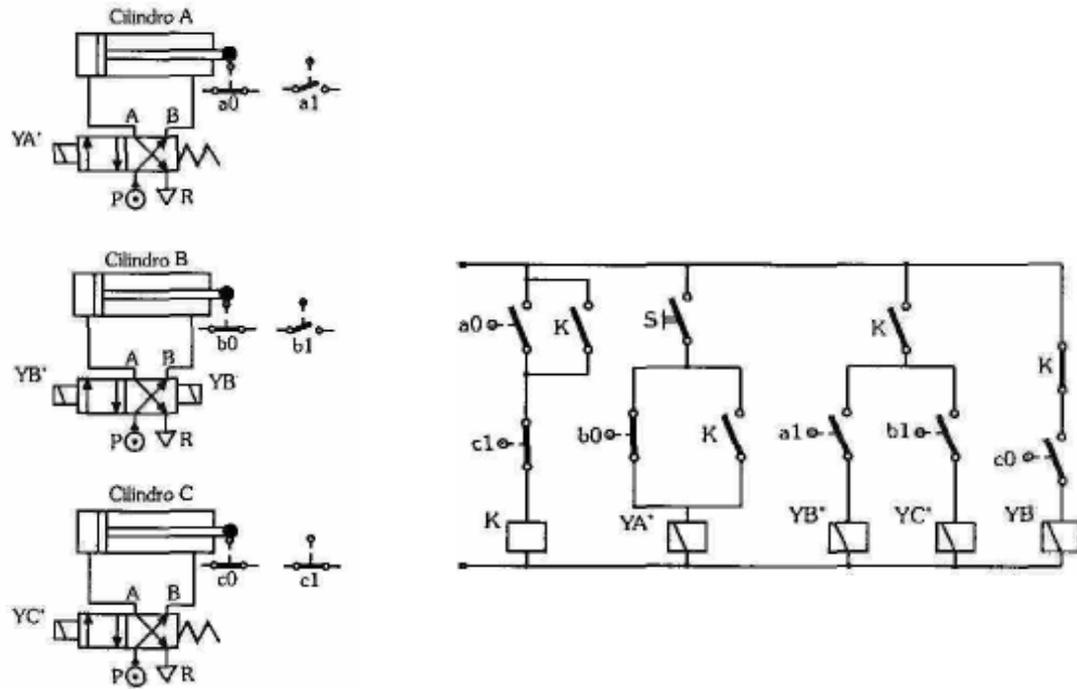
Equações:

$$\begin{cases} A^+ = b0.S \\ A^- = b0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a1 \\ B^- = b1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C^+ = \overline{b0} \\ C^- = b0 \end{cases}$$

8.3- Processo Automatizado 3



Equações:

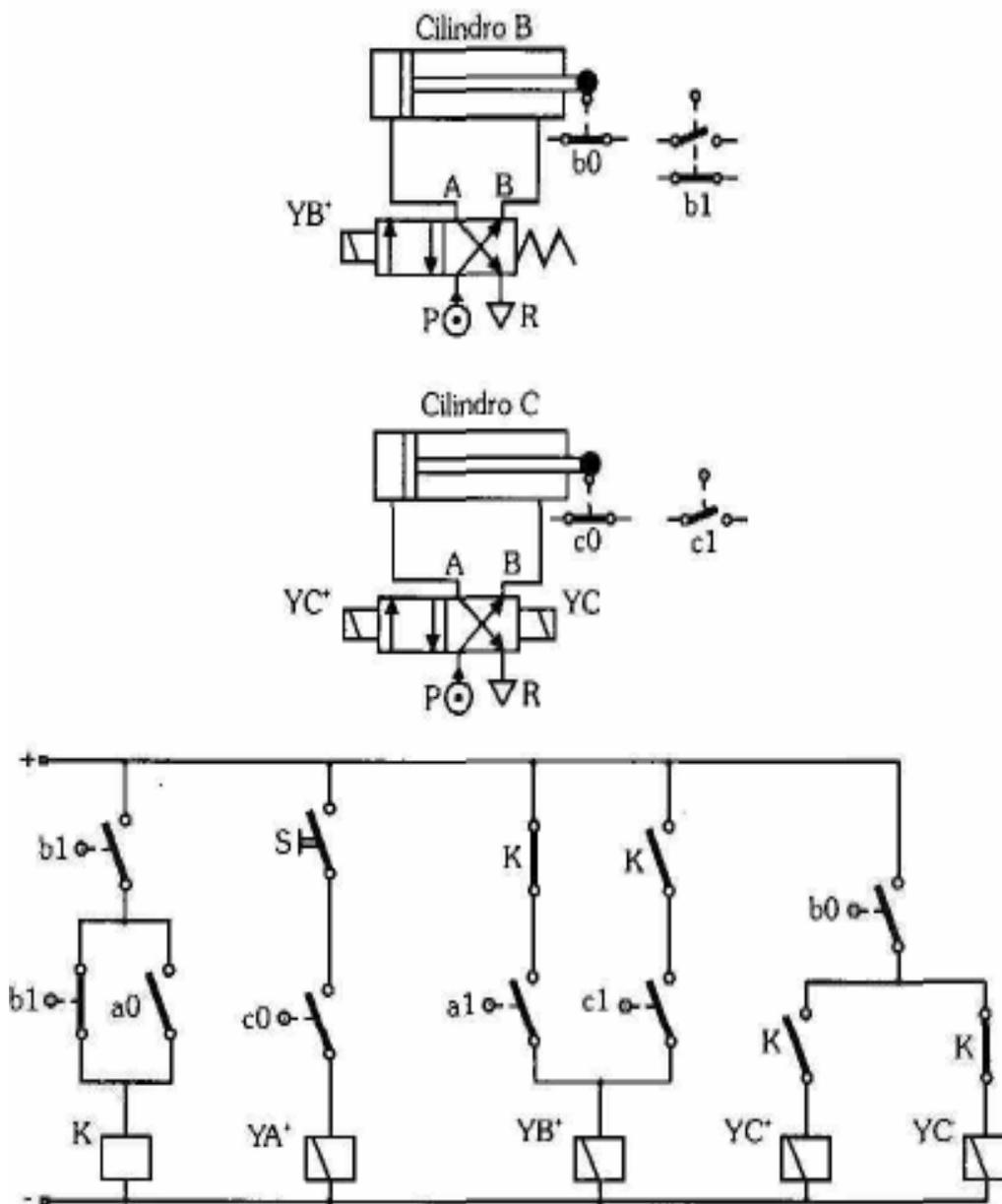
$$\begin{cases} A^+ = (\overline{b0} + KNA).S \\ A^- = b0.KNF \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a1.KNA \\ B^- = c0.KNF \end{cases}$$

$$\begin{cases} C^+ = b1.KNA \\ C^- = \overline{b1.KNA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow a0 \\ K^- \Rightarrow \overline{c1} \end{cases}$$

8.4- Processo Automatizado 4



Equações:

$$\begin{cases} A^+ = c_0.S \\ A^- = \overline{c_0} \end{cases}$$

$$\begin{cases} B^+ = a_1.KNF + c_1.KNA \\ B^- = \overline{a_1.KNF + c_1.KNA} \end{cases}$$

$$\begin{cases} C^+ = b_0.KNA \\ C^- = b_0.KNF \end{cases}$$

$$\begin{cases} K^+ \Rightarrow b_1 \\ K^- \Rightarrow \overline{b_1} + \overline{a_0} \end{cases}$$

Bibliografia

- BITTENCOURT, P. **Comandos Eletropneumáticos**. Centro Didático de Automação Schrader Bellow, 1992.
- NATALE, F. Automação Industrial. São Paulo: Eriça, 1995.
- NOVAIS, J. **Método Seqüencial para Automatização Eletropneumática** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983.
- MEIXNER, H.; SAUER, E. **Introdução a Sistemas Eletropneumáticos**. Festo Didatic, 1988.
- _____. **Técnicas e Aplicação de Comandos Eletropneumáticos**. Festo Didatic; 1988.

**Obrigado por adquirir este EBOOK,
Temos outros títulos a sua disposição.**

2006

Um ano bom !